

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Obnovitelné zdroje v distribučních rozvodech
Renewable Power Source in Distribution Networks

Ostrava 2016

Stanislav Pávek

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Stanislav Pávek**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Obnovitelné zdroje v distribučních rozvodech.**
Renewable Power Sources in Distribution Network.
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor distribučních sítí nn a vn
2. Obnovitelné zdroje v distribuční síti – druhy, parametry, umístění .
3. Zpětné vlivy - změny napětí, flikru, ovlivnění signálu HDO, příspěvek ke zkratovým poměrům a příspěvky k úrovni harmonických proudů
4. Limity připojitelnosti.
5. Příklad výpočtu.

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Santarius, P.: Elektrické stanice a vedení, Skripta VŠB-TU Ostrava, 1990
2. Hodinka, M.: Přenos a rozvod elektrické energie, SNTL, 1989
3. Trojáněk, Z.: Přechodné jevy v elektrizačních soustavách, SNTL 1987
4. Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku, SNTL, 1991
5. Normy, firemní literatura, předpisy a směrnice ČEZu

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr. Ing. Jiří Gurecký**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Úvod

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 27. dubna 2016

podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval své rodině za podporu při studiu a také mému vedoucímu práce doc. Dr. Ing. Jiřímu Gureckému, za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce je o obnovitelných zdrojích v distribučních sítích. Obsahuje teoretický rozbor distribučních sítí nn a vn. Seznámení s jednotlivými obnovitelnými zdroji a jejich problematikou, co se týče principu výroby elektrické energie, podmínek pro optimální výrobu a jejich umístění v rámci geografických podmínek. Dále obeznámení se všemi možnými rušivými zpětnými vlivy dílčích obnovitelných zdrojů jakou jsou například: ovlivnění signálu HDO, flickr, změny napětí, nestálost výkonu elektrické energie a vyšší harmonické. Další část se zabývá propojitelností obnovitelných zdrojů elektrické energie s ohledem na kompenzaci jalového výkonu, podmínky připojení a povolení rozsahu rušivých zpětných vlivů do sítě. Na konci této práce je posudek připojení fotovoltaické elektrárny do sítě a to jak z hlediska změny napětí, tak úbytků napětí v síti.

Klíčová slova

Obnovitelné zdroje; fotovoltaické elektrárny; větrné elektrárny; vodní elektrárny; energie z biomasy; distribuční síť; energie; napětí; proud, zpětné vlivy; motor; elektrárna; HDO; flickr; harmonické; připojení; změny napětí; limity propojitelnosti

Abstract

This bachelor thesis is about renewable sources in the distribution networks. It contains a theoretical analysis of distribution networks, LV and HV. Familiarization with the individual renewable sources and their issues, as regards the principle of electricity generation, conditions for optimal production and their location within the geographic conditions. Furthermore, familiarity with all sorts of disruptive retroactive effects individual renewable resources such as: influencing signal of MRC, flicker, voltage changes, instability of the electric power and the harmonics. Another section deals with the connectivity of renewable energy sources with regard to reactive power compensation, conditions of access and permission range of disturbing reverse effects to network. At the end of this work is the opinion connection photovoltaic power plant to the network both in terms of voltage changes and voltage drops in the network.

Key words

Renewable resources; photovoltaic power plants; wind power plants; hydropower plants; energy from biomass; distribution network; energy; voltage; current; feedback effects; engine; power plant; MRC; flicker; harmonics; connection; voltage changes; limits of connectivity

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam
HDO	Hromadné dálkové ovládání
nn	nízké napětí
vn	vysoké napětí
P	výkon
VTE	větrná elektrárna
FVE	fotovoltaická elektrárna
VA	voltampérová
Hz	hertz
FV	fotovoltaický
η	účinnost
U_{mp}	napětí maximálního výkonu
I_{mp}	proud maximálního výkonu
AC	alternate current - střídavý proud
DC	direct current - stejnosměrný proud
km	kilometr
kg	kilogram
HDS	hlavní domovní skříň
THD	činitel harmonického zkreslení
THDI	činitel harmonického zkreslení proudu
THDU	činitel harmonického zkreslení napětí
U	napětí
I	proud
ΔU	úbytek napětí
R	odpor
X	reaktance
$\cos \varphi$	účinník
U_n	jmenovité napětí

Obsah

1	Úvod.....	- 10 -
2	Teoretický rozbor distribučních sítí nn a vn.....	- 11 -
2.1	Rozdělení rozvodných systémů podle způsobu napájení	- 13 -
3	Obnovitelné zdroje	- 14 -
3.1	Potenciál netradičních zdrojů energie v ČR	- 15 -
3.1.1	Energie z vody v ČR	- 15 -
3.1.2	Energie z větru v ČR	- 16 -
3.1.3	Sluneční energetika ČR	- 17 -
3.2	Větrné elektrárny	- 17 -
3.2.1	Větrné motory a jejich dělení	- 18 -
3.2.2	Motory odporové	- 18 -
3.2.3	Motory vztakové	- 19 -
3.2.4	Parametry větrných elektráren	- 19 -
3.2.5	Umístění VTE v ČR	- 20 -
3.2.6	Generátory větrných elektráren	- 21 -
3.2.7	Typy zapojení VTE	- 22 -
3.3	Fotovoltaické elektrárny	- 23 -
3.3.1	VA charakteristika FV článku	- 24 -
3.3.2	Typy solárních článků	- 25 -
3.3.3	Druhy zapojení fotovoltaických systémů	- 26 -
3.3.4	Návrh fotovoltaických elektráren, vyměření jednotlivých komponentů	- 29 -
3.4	Energie z biomasy	- 29 -
3.4.1	Dělení biomasy	- 30 -
4	Zpětné vlivy netradičních zdrojů na distribuční síť	- 32 -
4.1	Flikr	- 32 -
4.1.1	Vliv dynamických změn napětí na různých elektrických zařízeních	- 32 -
4.2	Změny napětí	- 33 -
4.3	Ovlivnění signálu HDO	- 33 -
4.3.1	Účely použití HDO:	- 34 -
4.4	Vyšší harmonické	- 34 -

5	Limity připojitelnosti.....	- 36 -
5.1	Podmínky pro připojování jednotlivých zdrojů elektrické energie	- 36 -
5.2	Posouzení zpětných vlivů před připojením	- 37 -
5.2.1	Změny napětí.....	- 37 -
5.2.2	Vyšší harmonické	- 37 -
5.2.3	Dynamické změny napětí (Flikr).....	- 39 -
6	Výpočet posouzení vedení s FVE	- 40 -
6.1	Výpočet bez FVE	- 41 -
6.2	Výpočet s FVE	- 45 -
6.3	Zhodnocení připojení FVE.....	- 48 -
	Závěr	- 49 -
	Použitá literatura	- 50 -

1 Úvod

Určitě si každý z nás stihnul všimnout, že se čím dál více poukazuje na naše životní prostředí, v kterém žijeme, že míra oxidu uhličitého v ovzduší je příliš velká a ovlivňuje skleníkový efekt a proto se zavádí do všech tepelných elektráren na uhlí nové technologické postupy na co největší odbourání škodlivých látek v ovzduší a také situace ohledně nevyčerpatelnosti fosilních paliv jakožto uhlí a ropy, které velice rychle těžíme a spotřebováváme, ale jejich tvorba trvá desítky až stovky milionů let ve velkých hloubkách a při vysokých tlacích. Do budoucna se řeší nacházení nových neobvyklých zdrojů energie, které v této práci budou ukázány a dále přiblíženy jaké energie se využívá a k jakým účelům. Zvyšují se také nároky na kvalitu přenosu a rozvodu elektrické energie a proto je v této práci ukázáno, jaké máme distribuční sítě nn a vn a s jakými všemi rušivými vlivy a nedostatky se musíme vypořádávat u obnovitelných zdrojů energie jakožto kolísavé změny napětí u větrných, slunečních či vodních elektráren způsobené například: neoptimální intenzitou slunečního záření, nízkou rychlostí větru, nebo naopak rychlostí větru nad 25m/s, což je u větrných elektráren hraniční rychlost větru u kterého se musejí už odpojovat od distribuční sítě a u vodních elektráren malým průtokem vody. Dále se potýkáme z takzvaným flikrem, který bude taky vysvětlený, další faktor je ovlivnění signálu HDO a to je takzvané hromadné dálkové ovládání, které dokáže ovládat zapínání a odpínání spotřebičů a dalších elektrických zařízení. Příspěvky ke ztrátovým poměrům, což řešíme kompenzací jalové energie a také problémy s vyššími harmonickými v síti, což nám způsobuje například bzučení zářivek. A kvůli těmto problémům byly zavedeny určité pravidla, kterými se musí každý provozovatel při připojování těchto obnovitelných zdrojů energie řídit, aby nenastávali žádné ohrožující situace chodu sítě a ovlivňování ostatních výrobců a odběratelů elektrické energie.

2 Teoretický rozbor distribučních sítí nn a vn

Distribuční soustava pro elektřinu je vzájemně propojený soubor zařízení a vedení pro rozvod elektřiny z přenosové soustavy (nebo ze zdrojů do ní zapojených) ke koncovým uživatelům. Nedílnou součástí distribuční soustavy jsou její řídicí, ochranné, zabezpečovací a informační systémy. Distribuční soustava je zařízení s napětím až 110kV, přičemž v domácí elektrické zásuvce bývá 230 voltů).

Provozovatelem distribuční soustavy může být fyzická nebo právnická osoba, která je držitelem licence na distribuci elektřiny, což je oprávnění k dopravě elektřiny distribuční soustavou

V ČR působí ve svém vymezeném území tyto provozovatele distribučních soustav:

PRE Distribuce, a.s. (hlavní město Praha a Roztoky u Prahy)

E.ON Distribuce, a.s. (Jihočeský kraj, Vysočina bez Havlíčkovobrodská, Jihomoravský kraj a Prostějovsko, Zlínský kraj bez Vsetínska)

ČEZ Distribuce, a.s. (většina České republiky) [1]

Pro zajímavost přikládám mapu české republiky, kde jsou uvedeni jednotliví distributoři elektrické energie v ČR.



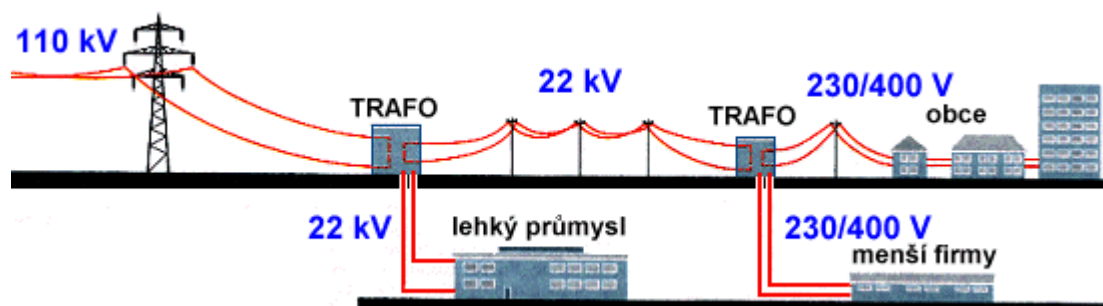
Obrázek 2.1: *Mapa distribuce elektřiny ČR*

Elektrárny vyrábějí trojfázový střídavý proud za pomoci přeměn energií určitého charakteru jako například tepla, světla, větru, vody na mechanickou a mechanická je pak převedena na elektrickou energii. A tento proud je o napětí několik tisíc voltů. Pro přenos na velké vzdálenosti se toto napětí přímo v elektrárně transformuje na velmi vysoké napětí 110kV, 220kV nebo 400kV. Nadzemními vedeními jsou jednotlivé elektrárny připojeny do rozvodné sítě. Rozvodná síť má velmi složitou strukturu, která jednak zajišťuje přenos na velké vzdálenosti při napětí 400kV a 220kV, jednak distribuci elektrické energie k jednotlivým spotřebitelům. Spojovacím prvkem mezi přenosovou a distribuční částí rozvodné sítě jsou transformační stanice.

Ještě k zamyšlení proč tohle to napětí o velikosti tisíce voltů transformujeme na co největší napětí. Důvodem je snížení ztrát při přenosu. I ten nejlepší vodivý materiál, s kterého se vyrábí vodiče elektrického proudu, klade elektrickému proudu odpor R , průchodem proudu se vodič zahřívá a část elektrické energie se mění na teplo. Velikost tepelných ztrát Q závisí nejen na odporu vodiče, ale především na druhé mocnině procházejícího proudu, což znamená, že dvakrát větší proud způsobí čtyřikrát větší ztráty. A pro příklad pokud nám generátor v elektrárně vyrobí 30MW, tak můžeme použít malé napětí 300V, ale vodičem poteče proud 100kA. Jestliže však použijeme pro přenos napětí 400kV, bude vodičem procházet proud jen 75A a tepelné ztráty klesnou milionkrát. Ekonomičtější je proto používat k přenosu na větší vzdálenosti co nejvyšší napětí, aby procházel co nejnižší proud. Teprve před místem spotřeby se napětí transformuje na poměrně bezpečnou hodnotu 230V a 400V.

A pak si možná říkáte proč, když je to tak výhodné se nevyužívá napětí větší než 400kV. Důvodem je elektrické pole kolem vodičů, které je při vyšších napětích už tak silné, že zejména na hrotech vzniká korona. Zvláště ve vlhkém počasí způsobuje korona sršení (slyšitelné jako praskot a viditelné jako světélkování v okolí vodičů) a to výrazně zvyšuje ztráty elektrické energie. Vyšší napětí vyžaduje také odolnější izolace a další nákladné konstrukční úpravy.

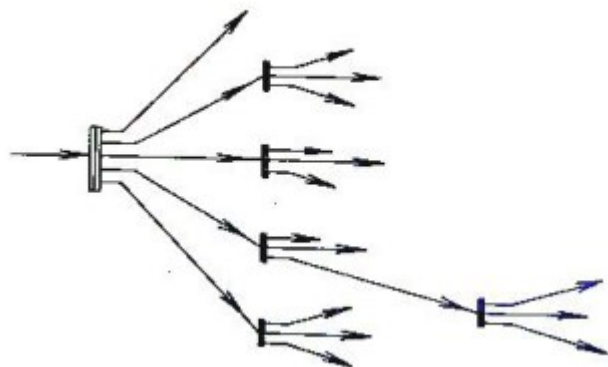
Dálkový přenos energie zajišťuje přenosová síť vedení velmi vysokého napětí. Linky propojují jednotlivé zdroje a transformační stanice, aby bylo možno operativně řídit přenos energie v závislosti na okamžité spotřebě elektřiny v různých oblastech i v případě poruchy na některé části sítě. V naší republice dnes máme 3510 km linek o napětí 400kV a 1909 km linek o napětí 220kV.



Obrázek 2.2: Ukázka distribuční sítě [2]

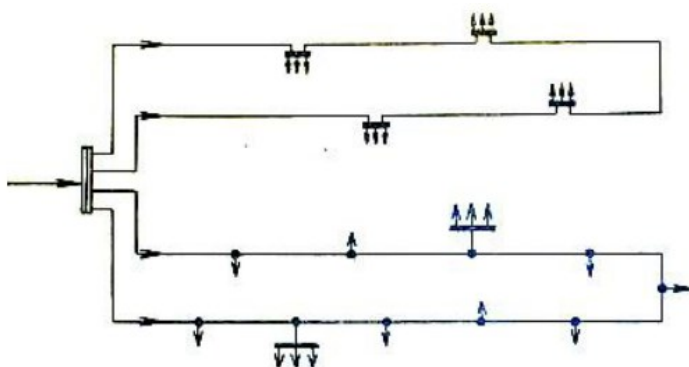
2.1 Rozdělení rozvodných systémů podle způsobu napájení

1) Paprskový rozvod



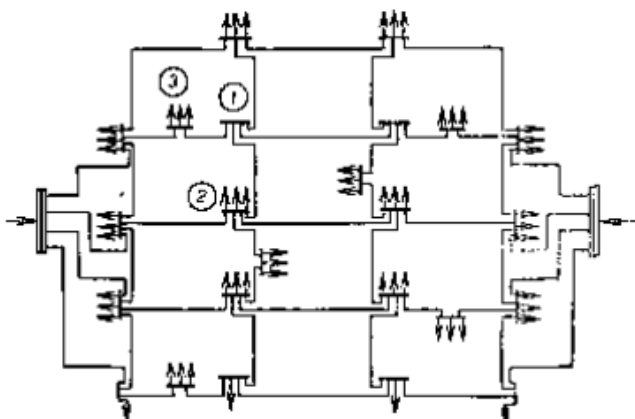
Obrázek 2.3: *Paprskový rozvod*

2) Okružní rozvod



Obrázek 2.4: *Okružní rozvod*

3) Mřížový rozvod



Obrázek 2.5: *Mřížový rozvod*

3 Obnovitelné zdroje

Obnovitelný zdroj energie je označení pro rozmanité vybrané, na zemi přístupné formy energie, získané elementárně především z jaderných proměn v nitru Slunce. Dalšími zdroji energie jsou setrvačnost systému Země-Měsíc a teplo zemského jádra. Lidstvo tyto druhy energií získává hlavně ve formách např. větrné energie, sluneční energie, energie přílivu a odlivu, vodní energie, geotermální energie, energie biomasy a další druhy energií.

Obnovitelné zdroje jsou definovány v české legislativě takto:

Definice obnovitelného zdroje podle českého zákona o životním prostředí je: „Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka.“ A díky začátku velkého rozšiřování obnovitelných zdrojů vznikl zákon č. 180/2005 Sb. O podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a to ve znění: „Obnovitelnými zdroji se rozumí obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu a energie bioplynu.“ [3]

Obnovitelné zdroje energie v ČR:

Hlavními zdroji energie v České Republice jsou v první řadě fosilní paliva a to jaderné a tepelné elektrárny. Dále můžete vidět v tabulce 1.1, jak jsou na tom další jednotlivé netradiční zdroje energie, jako jsou např.: fotovoltaické elektrárny, větrné elektrárny, vodní elektrárny a plynové elektrárny. Veškerá produkce elektrické energie v ČR překročila v roce 2013 hodnotu 87 TWh.

Výroba a instalovaný výkon - detail						
Typ zdroje	Instalovaný výkon (MW)			Výroba (GWh)		
	konec 2013	konec 2012	konec 2011	2013	2012	2011
Parní elektrárny	10 819,5	10 644,1	10 787,5	44 737,0	47 261,0	49 973,0
Jaderné elektrárny	4 290,0	4 040,0	3 970,0	30 745,3	30 324,2	28 282,6
Vodní elektrárny	2 229,2	2 215,7	2 201,1	3 761,7	2 963,0	2 835,0
Plynová elektrárna	1 338,1	1 270,9	1 101,5	5 272,4	4 435,1	3 955,1
Fotovoltaická elektrárna	2 132,4	2 086,0	1 971,0	2 070,2	2 173,1	2 118,0
Větrné elektrárny	270,0	263,0	218,9	478,3	417,3	396,8
Celkem	20 736,61	20 519,5	20 250,0	87 064,9	87 573,7	87 560,6

Tabulka 3.1: Výroby elektrické energie jednotlivých zdrojů energie [4]

V následující tabulce 3.2 můžete vidět jaký je u nás trend ve výrobě elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie od roku 2008 do roku 2013.

Výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů v ČR							
	2013	2012	Δ 2013/2012 v %	2011	2010	2009	2008
Vodní elektrárny	3 761,7	2 963,0	26,2	2 835,0	2 789,4	2 429,60	2 376,30
Větrné elektrárny	478,3	417,3	12,6	396,8	335,5	288,1	244,7
Fotovoltaické elektrárny	2 070,2	2 173,1	-4,7	2 118,0	615,7	88,8	12,9
Biomasa	1 647,2	1 813,1	-9,2	1 673,2	1 640,6	1 436,80	1 231,2
Bioplyn	2 133,7	1 319,9	61,7	770,5	617,1	325	131,7
Skládkový plyn	107,6	102,7	4,8	100,2	89,3	89	81,9
Celkem (GWh)	10 198,7	8 789,1	16,0	7 893,7	5 850,7	4 657,50	4 078,70

Tabulka 3.2: Výroba elektrické energie z OZE v ČR. [4]

V roce 2013 byl podíl OZE na hrubé domácí spotřebě elektřiny v ČR 14,53%. Takže jde vidět, že se naše energetika snaží hojně využívat environmentálních podmínek, ve kterých žijeme pro výstavbu nových obnovitelných zdrojů energie.

3.1 Potenciál netradičních zdrojů energie v ČR

3.1.1 Energie z vody v ČR

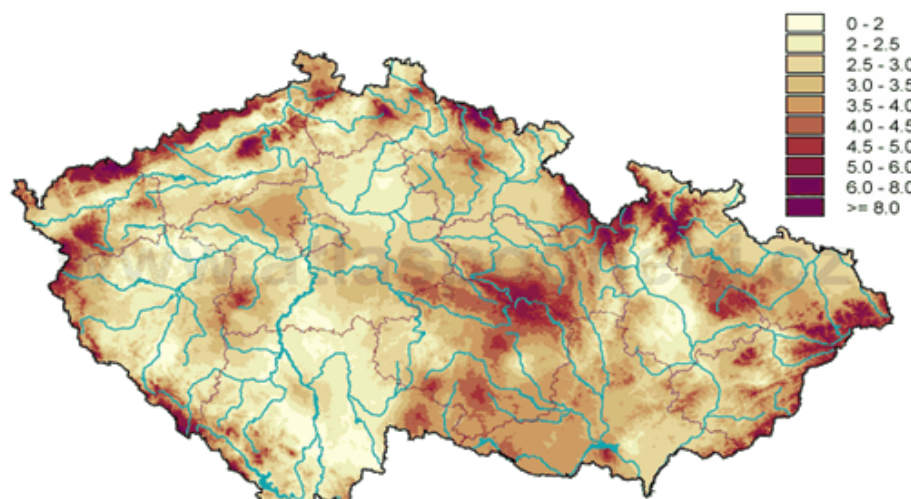
V České Republice nemáme ideální přírodní poměry pro výstavbu velkých vodních elektráren. Naše toky nemají nezbytný spád a ani uspokojivé množství vody jako je tomu třeba v USA nebo v Číně. V roce 2013 byla výroba vodních elektráren 3761,7 GWh. Což je přibližně 4,32% z celkové výroby elektrické energie v ČR, která přesáhla v roce 2013 hodnotu 87 GWh. Cesta ke zlepšení vede k možnostem výstavby drobných vodních elektráren a renovace současných, již nevhodných, zařízení vodních elektráren a také výstavby nových PVE, které slouží jako záložní zdroje energie pro jaderné elektrárny a velice se osvědčili svým vysokým výkonem a rychlým naběhnutím požadovaného výkonu do sítě a tady tímto krokem lze docílit zvětšení účinnosti přeměny vodní energie. U nás jsou největší řeky Vltava, Labe a Morava a ty jsou nejvhodnější pro vodní energetiku, protože mají nejlepší průměrné toky vody. Další vodní toky umožňují možnost postavení malých vodních elektráren. Kaskáda vodních elektráren na řece Vltavě má celkový instalovaný výkon 750 MW a je to nejlépe energeticky využitá řeka u nás.[3]

Pár výhod vodních elektráren oproti elektrárnám využívající fosilní paliva:

- Schopnost pohotového a úsporného zapínání a odstavování.
- Snadný výrobní proces ze schopností plné automatizace provozu a dálkového ovládání.
- Velká rychlost výroby při nízké poruchovosti.
- Mechanická energie vody se přeměňuje na elektrickou energii s velkou účinností.
- Nezamořují okolí exhalacemi a odpady z výroby.

3.1.2 Energie z větru v ČR

Ve státech střední Evropy nejsou větrné předpoklady příliš šťastné, a proto se tady větrné elektrárny používají jen v menší míře. V České Republice jsou vlídné větrné podmínky převážně v horských oblastech a na vrchovinách. K roku 2013 byla celková výroba VTE pro ČR 478,3 GWh a to je pouhých 0,55% z celkové výroby elektrické energie v ČR. To je opravdu málo, ale i přesto se dá říci, že výstavba těchto malých zdrojů energie a velice nestabilních je velice oblíbená a vystavují se neustále nové a lepší VTE. Výhodou větrné energie je fakt, že při tvorbě nejsou vytvářeny žádné škodlivé emise. Tím že nejsme přímořskou zemí, je v našich podmínkách problém z rychlostí větru a výběrem dobré lokality pro výstavbu VTE. Ve vybrané lokalitě by se měla průměrná roční rychlost větru pohybovat nad hranici 5 m/s. Dále zde přiložím větrnou mapu České republiky, ze které je zřejmé, že počet větrných oblastí pro výstavbu větrných elektráren je značně omezený. A horní hranice rychlosti větru je 25 m/s. Při rychlostech větru nad 25 m/s jsou už větrné elektrárny odstavovány z bezpečnostních důvodů.[3]

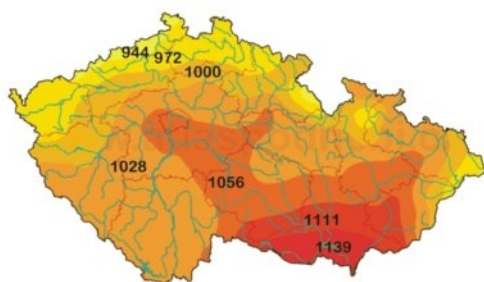


2005 Czech Hydrometeorological Institute

Obrázek 3.1: Větrná mapa ČR [5]

3.1.3 Sluneční energetika ČR

Sluneční energie se dá využít jako aktivní nebo pasivní solární systém. Lze tedy energii slunce použít k výrobě tepelné či elektrické energie. Mezi aktivní a tepelné patří: ploché kolektory, trubicové kolektory, teplovzdušné kolektory. Mezi aktivní a pro výrobu elektřiny patří: fotovoltaické články a solárně-termická přeměna a mezi pasivní patří teplo zachycené konstrukcí budovy. U solární energie je důležitá intenzita slunečního záření, která je u nás v ČR na 1m² vodorovné plochy zhruba 950 - 1340 kWh. V roce 2013 byla výroba fotovoltaických elektráren v ČR 2070,2 GWh, což tvoří 2,38% z celé tuzemské výroby elektřiny. Dále přikládám mapu intenzity slunečního záření v ČR a údaje jsou v kWh/m². [3]



Obrázek 3.2: *Intenzita slunečního záření v ČR [6]*

3.2 Větrné elektrárny

Energii větru člověk zná a využívá již několik století. První zmínka o větrném motoru s vodorovnou osou je z 3. století před Kristem z Egypta. Stavby větrných mlýnů byly zahájeny ve 13. století v Evropě. Větrná energie byla tehdy využívána nejvíce na drcení obilí, čerpání vody a opracování dřeva. Ale protože se objevil v 19. století vynález parního stroje, tak nastal útlum rozvoje používání větrné energie.

V dnešní době je opět velká snaha o využívání větrné energie a to hlavně na výrobu elektrické energie. A tato snaha je hlavně zapříčiněna vznikajícími nepříznivými vlivy při využívání fosilních paliv a to má za důsledek vznik skleníkového efektu a tomu se snažíme co nejvíce zabránit.

Pro větrné elektrárny je nejdůležitější vítr a jeho intenzita. Vítr vzniká vlivem nestejnosměrného ohřívání krajiny solárním zářením. Teplý vzduch stoupá vzhůru. Celý cyklus je závislý na rotaci Země a střídání dne a noci a to má za následek vznik tlakových rozdílů v zemské atmosféře. Vyrovnáváním tlakových odchylek vzniká vítr, který fouká pokaždé od tlakové výše k tlakové níži. Kolem tlakové níže na severu polokoule jde rotační pohyb proti směru hodinových ručiček, u tlakové výše ve směru. Vlivem aerodynamických sil na listy rotoru přesouvá větrná turbína umístěná v kokpitu energii větru na rotační energii mechanickou. Mechanická energie je posléze prostřednictvím generátoru transformována na energii elektrickou. Elektrárny se stavějí v rozmezí 225 kW až 2,5 MW a pracují v rozmezí rychlosti větru 3 - 25 m/s a otáčky se pohybují v rozmezí od 5 do 20 ot/min.

Pro používání větrné energie je zásadním činitelem rychlost větru, který má hlavní vliv na úplný i použitelný výkon větru. Na rychlost větru má vliv charakter zemského povrchu a platí, že směrem k zemskému povrchu se rychlost větru zmenšuje. V plochem terénu platí pro rychlost větru:[3]

$$\frac{v^*}{v_0^*} = \left(\frac{h}{h_0}\right)^n \quad (3.1)$$

v^*průměrná rychlost větru nad zemským povrchem ve výšce h

v_0^* ...průměrná rychlost větru ve výšce h_0

ndrsnost povrchu

3.2.1 Větrné motory a jejich dělení

K přeměně energie mechanické na kinetickou se používají zpravidla větrné motory. A nejdříve se ve větrných elektrárnách mění kinetická energie větru v mechanickou energii turbíny a ta je potom transformována v elektrickou energii. Větrné elektrárny se dělí podle více kritérií, ale úplně základní dělení je podle stylu využívání aerodynamické síly a to že některé využívají ke své funkci buď odporu větru a jiné fungují za pomoci vztlakových sil:

- Motory odporové
- Motory vztlakové

3.2.2 Motory odporové

Tenhle typ motorů patří mezi nejstarší používané. Fungují na principu odporu vzduchu, který vytvoříme plochou nastavenou vůči větru. Jak vítr proudí, tak naráží do této plochy a tím se vytváří aerodynamický odpor, který se přeměňuje na sílu a tahle síla pohání mechanicky vrtuli a vzniká rotační pohyb. Pro vzniknutí hnacího točivého momentu u tohoto typu větrných motorů musí být dodržena podmínka, že rychlost větru musí být větší, než obvodová rychlost. Aby vzniknul u tohoto typu větrného motoru hnací točivý moment, musí být obvodová rychlost vždy menší než rychlost větru. Pokud nevystavujeme hřídel odporu a odběru energie, tak se otáčky rovnají rychlosti proudícího větru a pokud se zvedne rychlost větru o dvojnásobek, tak otáčky se zvýší dvojnásobně.

U tady tohoto typu motorů se pohybuje účinnost okolo 15 - 23% a to je taky značný důvod, proč netvoří moderní energetickou koncepci. Savoniův motor je zrovna druh větrného motoru, který využívá ke své funkci odporu větru..

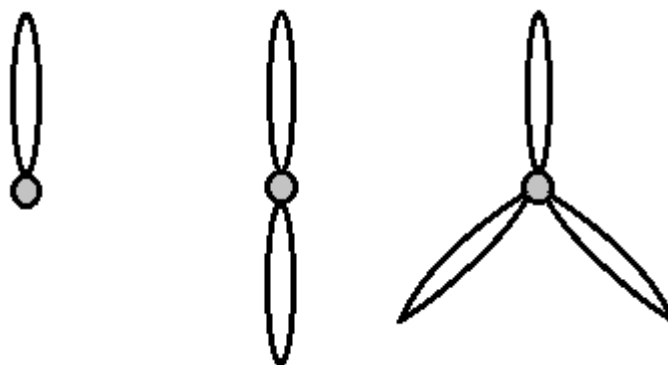
Výhody těchto typů motorů:

- Lehká struktura
- Jeho funkčnost nezávisí na směru větru, nemusíme natáčet rotor na směr větru.
- Krouticí moment se přenáší přímo na hřídel
- Už od 2 m/s se dají využívat, mají široké pásmo využitelnosti větru

Mezi hlavní nevýhody těchto odporových větrných motorů patří: nízké otáčky, malá rychlost, vysoký točivý moment a nízký možný elektrický výkon z důvodu malé využitelnosti větrné energie..[3]

3.2.3 Motory vztlakové

K těmto motorům pracujících za pomoci vztlaku patří například větrná kola a rotory s osou otáčení ve vodorovné poloze a jsou umístěny svou osou otáčení kolmo na směr větru. Nejvíce známé jsou dvoulisté, třílisté nebo čtyřlisté a dají se použít i jednolisté, rychle jdoucí pohony. Také motor Darrieus s vertikální osou pracující na vztlakovém principu se vyrábí jako dvoulistý, třílistý nebo i čtyřlistý. Tyto motory dosahují i účinnosti 40%. [3]



Obrázek 3.3: Větrné motory vztlakové jednolisté, dvoulisté a třílisté [3]

3.2.4 Parametry větrných elektráren

Hlavními parametry větrné elektrárny (VTE) je výkon a ten se odvíjí od výkonové rovnice větru, velikost jmenovitého výkonu a od toho se odvíjející velikost rotoru a také velikost věže od které se odvíjí větší rychlost větru a lepší provozní parametry.

Výkonová rovnice VTE:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \cdot \eta_s \cdot S \quad (3.2)$$

P ... Výkon VTE	[W]
ρ ... hustota vzduchu	[kg/m ³]
V ... rychlost proudění vzduchu	[m/s]
η_s ... účinnost stroje	[-]
S ... plocha rotoru	[m ²]

Ze vzorce se dá odvodit, že výkon VTE je závislý na druhé mocnině průměru rotoru.

Dále je vidět tabulka 3.3 závislosti průměru rotoru na jmenovitém výkonu tyto hodnoty se u jednotlivých průměrů liší, protože každá VTE má jinou účinnost a nedokáže vytěžit tak velký výkon z daného průměru rotoru.

Průměr rotoru (m)	Jmenovitý výkon (kW)
27	225
33	300
40	500
44	600
48	750
54	1000
64	1500
72	2000
80	2500

Tabulka 3.3: *Závislost průměru rotoru na jmenovitém výkonu VTE*

Dá se tedy říct, že pokud najdeme vyhovující lokaci pro výstavbu VTE lze jejího potenciálu dobře využít aplikováním moderních strojů s velkými rotory a vyššími stožáry, ale důležité je říci, že efektivitu velkých rotorů a vysokých stožárů nenahradí ani postavení několikanásobného počtu malých větrných elektráren.

3.2.5 Umístění VTE v ČR

Celkový počet větrných elektráren v české republice je 185. Do tohoto počtu nejsou započítány další malé VTE pod výkon 100 kW. Těchto 185 elektráren postavili rozdílní výrobci největší instalovaný výkon má výrobce Vestas a to 100,4 MW druhý největší je Enercon z 81,9 MW a třetí největší instalovaný výkon má Repower - Sinvion 36,6 MW. Tyto všechny větrné elektrárny jsou rozmístěny po celé ČR a každý kraj se může pyšnit jinou výrobou elektrické energie, ale hlavně jsou vystavovány na místech s optimálními podmínkami na výstavbu, jako je roční rychlost větru v dané lokalitě a dostatečně volná plocha na jejich výstavbu. Největší instalovaný výkon má Ústecký kraj a to 86,8 MW, druhý je Karlovarský kraj 51,8 MW a třetí je kraj Olomoucký 42,6 MW. Největší větrnou elektrárnou u nás jsou Kryštofovy Hamry o instalovaném výkonu 42 MW a dokáží za rok zásobovat elektřinou až 30 000 domácností. Druhou největší VTE u nás je Horní Loděnice - Lipina o výkonu 18 MW tento výkon je tvořen 9 turbinami každá o výkonu 2 MW a roční úspora oxidu uhličitého je 30 000 tun tyto elektrárny jsou umístěny na stožáru o výšce 105 metrů a průměr jejich rotoru je 90 metrů a každý list je 44 metrů dlouhý. Třetí největší VTE je Nová Ves v Horách o výkonu 13 MW. Na obrázku 3.4 můžete vidět rozložení VTE v České Republice.



Obrázek 3.4: Umístění větrných elektráren v ČR [7]

3.2.6 Generátory větrných elektráren

Ve větrných elektrárnách se používají hlavně synchronní a asynchronní generátory. Celkově záleží na daném výrobcí, jakou zvolí celkovou koncepci větrné elektrárny. V posledních letech se hojně používá technologie mnohapólových generátorů. U asynchronních generátorů se nejčastěji používají 4-pólové generátory, což máme dvě pólové dvojce a v síti o kmitočtu 50Hz jsou synchronní otáčky 1500ot/min a nebo 6-pólové z otáčkami 1000ot/min.

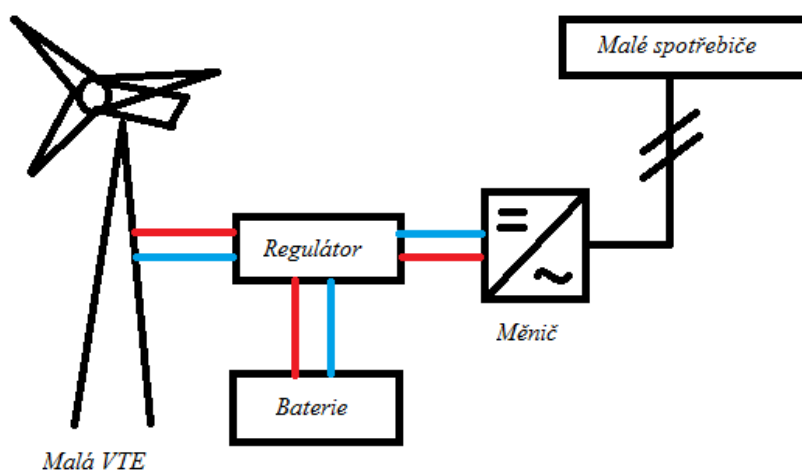
Asynchronní generátor je v porovnání se synchronním konstrukčně jednodušší a tím pádem i nás bude stát méně peněz a v provozu bývá spolehlivější. Na druhou stranu je nevýhoda malé rozpětí otáček u asynchronních generátorů. Značná výhoda asynchronních generátorů je poměrně snadný rozjezd, zapojení do sítě a měnitelnost výkonu.[3]

Problémem u synchronních generátorů je, že musí být provozovány jenom při synchronních otáčkách větrné turbíny. Musíme vyrobenou elektrickou energii usměrnit a dále opětovně střídačem převést na frekvenci sítě a to jen proto, abychom mohli používat synchronní generátor v rozsáhlejších hranicích otáček.[3]

3.2.7 Typy zapojení VTE

VTE drobných provedení:

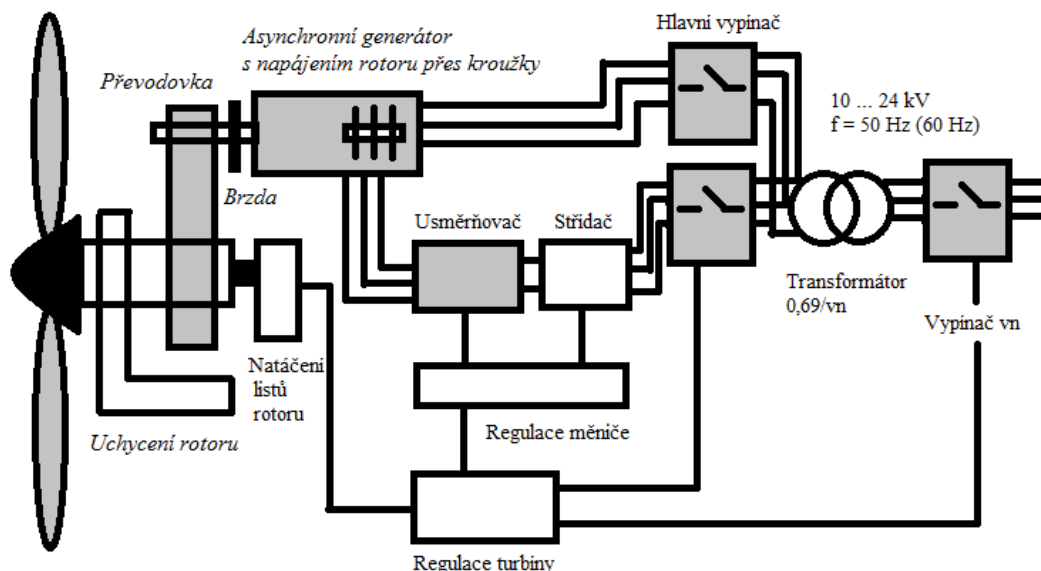
Bavíme se o větrných elektrárnách s instalovaným výkonem do 10 kW. Běžně se používají synchronní generátory s větším počtem pólů a trvalými magnety. A pokud by, jsme chtěli využívat tuto energii tak budeme určitě potřebovat nějaký usměrňovač pro nabíjení akumulátorových baterií nebo pro napájení autonomní stejnosměrné sítě a také střídač, který nám umožní napájení malých spotřebičů. Schéma zapojení malé VTE je na obrázku 3.5.[3]



Obrázek 3.5: Schéma zapojení malé VTE

VTE středních a velkých výkonů:

U těchto VTE se využívají pro výrobu elektrické energie motory asynchronní pracující v režimu generátor a kotvou nakrátko. Můžeme potlačit rozpětí regulace otáček, když použijeme asynchronní generátor s napájeným rotorem. Takovéto zapojení se používá u vyšších instalovaných výkonů generátorů a potom lze provozovat generátor i při nízkých otáčkách turbíny neboli nízkých rychlostech větru. Zapojení je na obrázku 3.6 lze provozovat bez napájení rotoru v případě, že rotorové vinutí připojíme nakrátko, nebo že do rotoru zapojíme přídavné odpory a tím umožníme zvýšení regulace skluzu a sklon momentové charakteristiky generátoru. [3]



Obrázek 3.6: *Zapojení velké VTE s asynchronním motorem a napájeným rotorem*

3.3 Fotovoltaické elektrárny

Tyto elektrárny fungují na principu fotovoltaického jevu, kdy elektrony ze záření dopadají na látku, která je schopna absorbovat část této energie a přeměnit ji na energii elektrickou. Na výrazný nárůst vývoje FV technologie měl zásadní vliv Albert Einstein objasněním fotoelektrického jevu, za které dostal Nobelovou cenou v roce 1921.

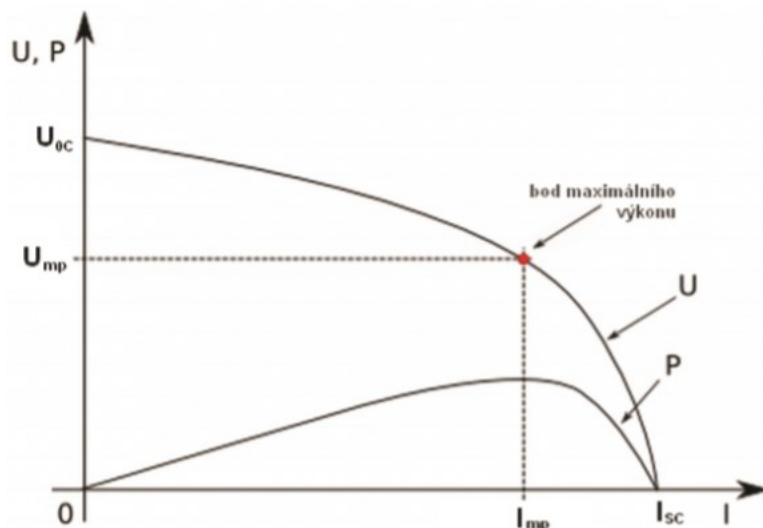
Ovšem z počátku se používala tato technologie výroby elektrické energie pouze ve vesmíru pro napájení satelitů a dodnes se používá k těmto účelům. Silným podnětem rozvoje fotovoltaiky byl nedostatek ropy v roce 1973, kvůli tomuto nedostatku se začalo uvažovat o efektivnějších zdrojích energie. V posledních letech se dosáhlo obrovského rozvoje FV systémů, a to díky dotačním programům a tohle způsobilo nebývalý vzrůst investorů o tady tu oblast výroby elektrické energie. S určitostí se dá říci, že do budoucna budou FV elektrárny zcela zásadní.

Pro správnou funkci FV článku je důležité, aby foton ze slunečního záření dopadající na látku uvolnil v látce elektron a vznikl pár elektron - díra, ale v určitých látkách dochází k jejich okamžité rekombinaci, tomuto je potřeba zabránit a vzniklý náboj tedy odvést z článku. Tohle to velice dobře zvládají polovodiče ve, kterých se elektrony a díry separují vnitřním elektrickým polem PN přechodu. A aby byla fotovoltaická přeměna dostatečně úspěšná tak musejí být splněny některé podmínky:

- Foton musí být pohlcen
- Foton musí excitovat elektron do vyššího vodivostního pásu
- Vzniklá dvojice elektron (-) - díra (+) musí být separována, aby se znovu nespojila
- Oddělené náboje jsou následně odvedeny ke spotřebiči

3.3.1 VA charakteristika FV článku

U voltampérové charakteristiky FV článku (obr. 2.8) je důležité napětí naprázdno a proud nakrátko. Napětí naprázdno představuje maximální napětí na článku, kterého je možno dosáhnout pokud ke článku není připojen žádný spotřebič. Proud nakrátko představuje maximální proud (zkratový proud), který může solární článek při dané intenzitě slunečního záření dodávat.



Obrázek 3.7: VA charakteristika a výkonová FV článku [3]

Výkon solárního článku se určuje u všech VA charakteristik stejně a to jako součin proudu a napětí. Pro každý článek existuje pracovní bod na charakteristice, ve kterém je výkon největší. Tento bod je označován jako bod maximálního výkonu (MPP) o napětí U_{mp} a proudu I_{mp} . Výkon (P) závisí u fotovoltaického článku na ozáření, na spektru světla a na teplotě článku. Pro výkon fotovoltaického článku platí rovnice.

$$P = U_{mp} \cdot I_{mp} \quad (3.3)$$

Účinnost FV článku je dána jako podíl maximálního výkonu článku v bodu MPP a výkonu dopadajícího slunečního záření (P_{in})

$$\eta = \frac{U_{mp} \cdot I_{mp}}{P_{in}} \quad (3.4)$$

Účinnost fotovoltaických článků dále hodně závisí na velikosti sériového a paralelního odporu a intenzitě dopadajícího záření. Pokud zapojíme malý sériový odpor R , tak účinnost článku s rostoucí intenzitou záření roste, dosahuje maxima a až při velkých intenzitách záření začíná klesat. Pokud zapojíme velký sériový odpor, tak účinnost článku s rostoucí intenzitou záření bude klesat, tohle se stává zejména u tenkovrstvých FV článků.[3]

3.3.2 Typy solárních článků

Pro výrobu fotovoltaických článků se nejvíce využívá křemík (Si). U křemíku je možné dosáhnout velmi vysoké účinnosti generace volných nosičů dopadajících slunečním zářením. A také u křemíku, jakožto základního prvku pro mikroelektroniku, se podařilo vědcům velmi dobře zvládnout všechny technologické operace potřebné k vytváření struktur. Nejpodstatnějším materiálem pro výrobu fotovoltaických článků z krystalického křemíku jsou křemíkové destičky čtvercového tvaru o rozměrech až 200x200 mm a rezistivitě řádově jednotky Ωcm . V počátku byla výroba FV článků spojena pouze s monokrystalickým křemíkem. Ale vzhledem k tomu, že žijeme ve společnosti, kde hrají významnou roli peníze, tak potřeba snížení ceny vstupního materiálu vedla v sedmdesátých letech k vývoji multikrystalického křemíku. Tahle ta technologie přispěla k úsporám materiálu a snížení investičních nákladů, na druhou stranu je u těchto desek náhodná orientace krystalických zrn a neumožňuje texturaci povrchu alkalickým leptáním a hranice zrn zvyšují ztráty rekombinací. Postupným vývojem se však podařilo značně přiblížit účinnost článků z multikrystalického křemíku účinnosti článků z křemíku monokrystalického. Jednotlivé účinnosti typů vyráběných fotovoltaických článků jsou v tabulce 3.4.

<i>Typ solárního článku</i>	<i>Typická efektivita článku za běžných podmínek</i>	<i>Maximální naměřená efektivita článku za běžných podmínek</i>	<i>Maximální naměřená hodnota článku v laboratoři</i>
	(%)	(%)	(%)
Monokrystalický křemík	12 – 16	22	25
Multikrystalický křemík	11 – 14	16	20
Amorfní křemík	5 – 7	10	13
Telurid kadmnatý	10	12	16

Tabulka 3.4: Účinnosti jednotlivých typů fotovoltaických článků [3]

Na výrobu jednoho fotovoltaického článku je použita jedna křemíková destička. Aby byla zajištěna vysoká životnost, tak se musí články chránit před vlivy okolního prostředí. Příklad konstrukce fotovoltaického článku z krystalického křemíku je na obrázku 3.9. Tento proces je velice zajímavý fotovoltaické články se vkládají do etylvinylacetátové fólie (EVA). Přední strana článku je tvořena vysoce průhledným, speciálně tvrzeným sklem, aby byly články chráněny před vlhkostí, větrem, menším krupobitím a dalšími povětrnostními vlivy. Současně musí sklo plnit funkci, že propouští na článek co největší množství slunečního záření. Zadní strana je uzavřena vícevrstvou plastovou fólií s vysokou pevností nebo další skleněnou vrstvou. Moduly jsou opatřeny hliníkovým rámem pro uchycení k nosným konstrukcím a na zadní stěně jsou opatřeny svorkovnicí s kabelovými vývody s překlenovacími diodami. Fotovoltaický modul je kompaktní celek s předepsanými mechanickými, optickými a elektrickými vlastnostmi.[3]

3.3.3 Druhy zapojení fotovoltaických systémů

Druhy zapojení se dělí na tři typy:

- Autonomní systémy
- Hybridní systémy s akumulací
- Systémy přímo spojené se sítí bez akumulace

Autonomní a hybridní systémy

Používají se převážně v místech, kde není dostupná veřejná elektrorozvodná síť.

K sestavení těchto systémů se používají fotovoltaické modely, akumulátorové baterie a ochranný obvod, který chrání akumulátorovou baterii před nadměrným vybitím nebo přebitím. Větší systémy mohou obsahovat i měnič napětí. Blokové schéma autonomního

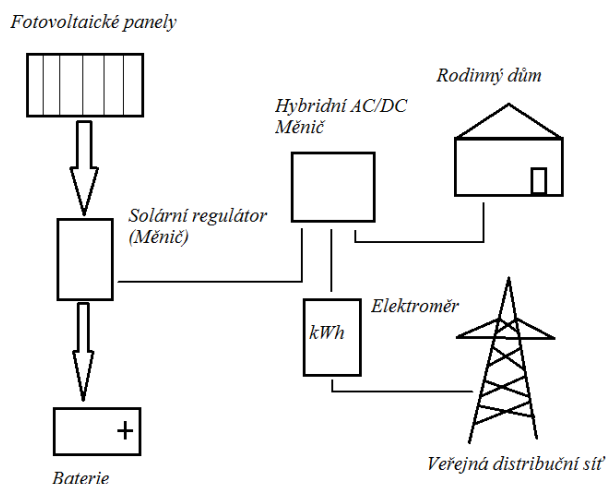
Používají se speciální akumulátorové baterie, konstruované pro pomalé nabíjení i vybíjení. Nejvhodnější nabíjení a vybíjení akumulátorů je zajištěno regulátorem dobíjení. K ostrovnímu systému lze připojit spotřebiče napájené stejnosměrným proudem (napětí systému bývá zpravidla 12 nebo 24 V), případně běžné síťové spotřebiče 230 V/ 50 Hz napájené přes napěťový měnič. Tyto systémy mají uplatnění například jako zdroj elektrické energie pro chaty a další objekty, napájení dopravní signalizace, telekomunikační zařízení nebo monitorovacích přístrojů v terénu, u zahradního osvětlení a světelné reklamy.[3]



Obrázek 3.10: *Blokové schéma Grid-off.*[7]

Hybridní systémy jsou spojením klasické síťové elektrárny a ostrovního systému. Mají výhody oproti systémům autonomním v maximálním využití vyrobené energie v místě výroby a to jak už ve formě elektrické energie nebo pro přitápění, provoz bazénu, zavlažování, klimatizaci, nebo pro předem určené spotřebiče a ani nemusí být zbytečně moc energie dodáno do distribuční sítě.

Dále je dobrá věc integrovaná funkce pro využití přebytečné energie ve výkonových špičkách, takže hybridní měnič dokáže přesměrovat přebytečnou energii v reálném čase, nebo s řízeným zpožděním do předem určených, energeticky náročných spotřebičů.



Obrázek 3.11: *Blokové schéma hybridního fotovoltaického systému*

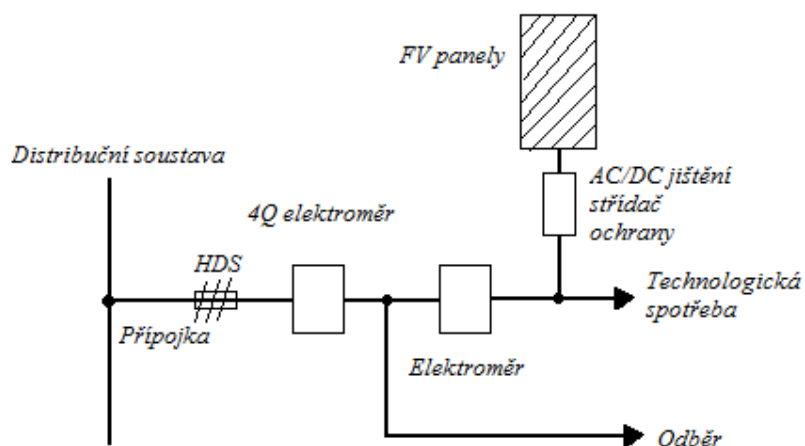
Systémy připojené k elektrické síti (Grid-on)

U těchto systémů je dobré, že veškerá vyrobená elektrická energie se zpracuje. Tyto systémy se většinou skládají z většího množství fotovoltaických modulů, měniče napětí, zařízení pro měření a regulaci a síťové ochrany. Připojování fotovoltaických systémů do sítě se provádí dvěma způsoby.

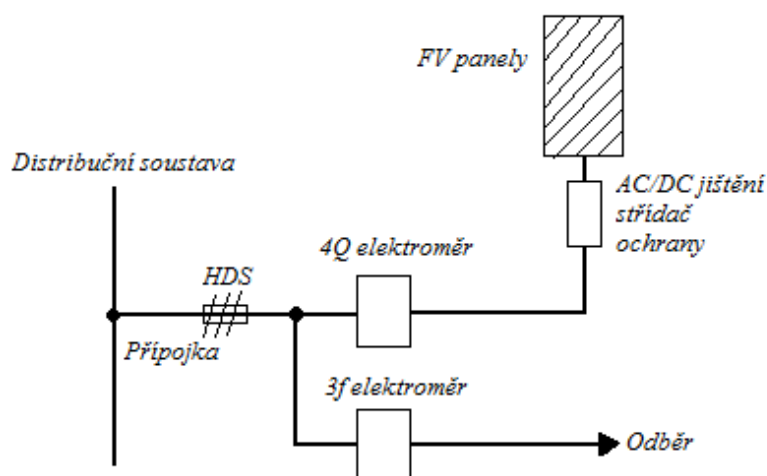
A to buď zapojení v tzv. Zeleném bonusu. Za hlavní domovní skříň (HDS) je osazen čtyřkvadrantový elektroměr a za elektroměrem je napojený domovní rozvod a elektrárny pomocí dalšího elektroměru. Tohle zapojení se využívá, když je převážná část vyrobené energie využita pro vlastní spotřebu objektu s fotovoltaickým systémem.

Druhý způsob zapojení je v tzv. Výkupním tarifu. Fotovoltaická elektrárna je v tomto případě připojena mezi stávající elektroměr a hlavní domovní skříň (HDS) za pomoci čtyřkvadrantového elektroměru. Tenhle způsob zapojení se využívá v případech, kdy je veškerá elektrická energie dodána výrobcem do elektrizační soustavy.[3]

Na klasické obytné domy se instalují systémy menších výkonů v rozmezí 1-10 kWp. Pro investory je však mnohem více vyhovující systémy instalované na střechy větších bytových nebo nebytových komplexů nebo instalace na volném prostranství např.: louky, pouště. Výkon s pravidla větší (20kWp až jednotky MWp).[3]



Obrázek 3.12: Blokové schéma zapojení pro vlastní spotřebu



Obrázek 3.13: Blokové schéma zapojení pro dodávku do sítě

U těchto systémů se liší měření dodané a spotřebované elektrické energie pro systémy do 20 kWp a nad 20 kWp. Systémům do 20 kWp se měří dodávka a spotřeba přímým čtyřkvadrantovým elektroměrem. Systémům nad 20 kWp se spotřeba a dodávka měří následovně:

- nepřímé měření dodávky 4Q elektroměrem na straně nízkého napětí transformátoru (do 600 kVA)
- nepřímé měření dodávky 4Q elektroměrem na straně vysokého napětí transformátoru
- samostatné měření spotřeby

3.3.4 Návrh fotovoltaických elektráren, vyměření jednotlivých komponentů

Když navrhujeme fotovoltaický systém, je potřeba dbát hlavně na bezpečnost a bezporuchovost provozu, minimální údržbu, maximální energetický zisk a minimální ztráty energie. Základní kritériem pro provoz je provozní výkonnost (PR) která se počítá následovně:

$$PR = \frac{E}{((G_E - U_0) \cdot A \cdot E_{ffm})} \quad (\%) \quad (3.5)$$

Ecelková vyrobená elektrická energie (Wh)

G_Ecelková dopadající energie slunečního záření ($Wh \cdot m^{-2}$)

A celková plocha FV panelů (m^2)

E_{ffm} účinnost FV panelů dle výrobce (%)

U_0 celkové množství energie slunečního záření, kterou není možno invertovat na elektrickou energii ($Wh \cdot m^{-2}$)

3.4 Energie z biomasy

Biomasa je obecně veškerá organická hmota na Zemi, která se podílí na koloběhu živin v biosféře. Jedná se o těla všech organismů, živých i mrtvých, od největších druhů až po ty nejmenší to jsou živočiši, rostliny, houby, bakterie a sinice.

Biomasa se dá považovat za naskladněnou sluneční energii a to sice s nízkou účinností, ale na druhou stranu s nulovými ztrátami při dlouhodobé akumulaci. Investice do takovýchto technických zařízení mohou být značně malé, když vezmeme, že nám bude stačit pila nebo sekýra na dřevo nebo kosa a hrábě v případě bylin. Nebude nás to stát peníze, ale naši vlastní energii.

Nejčastější se využívá biomasa k topení při využívání kusového dřeva. Dřevo je poměrně dobře dostupné a levné, ale na druhou stranu když si vezmeme kotel, tak je poměrně obtížná regulace výkonu. Hojně se využívá pelet, které se vyrábějí lisováním, ale mají tak malé rozměry že se s nimi dá zacházet jako s kapalným palivem. Výhoda je ta že hořák určený na pelety může mít malé rozměry a pelety mohou být dávkovány podle potřeby tepla. Pelety mají hlavně malý obsah vody a popela a tím teda dobrou výhřevnost.

Důležitým faktorem pro optimální využití biomasy je dodržení obsahu vody, která má přímý vliv na výhřevnost. A udává se, že doporučené je snížení vlhkosti pod 30% a za nejvhodnější se považuje vlhkost do 20 %. Pro některé další účely je potřeba ještě nižší obsah vody.

3.4.1 Dělení biomasy

Biomasa má poměrně obsáhlé členění a to:

- fytomasa - hmota rostlin obecně
- dendromasa - specificky stromy
- cíleně pěstovaná (pro energetiku) biomasa - zejména byliny a rychle rostoucí dřeviny
- biopaliva
 - pevná
 - kapalná
 - plynná
- biologicky rozložitelný odpad
 - komunální - zbytky potravin, papírové obaly
 - průmyslové - odpady z výroby papíru, cukru, mouky, odpady z jatek
 - splašky z kanalizace
- odpadní biomasa
 - z rostlinné výroby - sláma, plevy, zbytky z čištění zrnin
 - z živočišné výroby - hnůj, kejda, močůvka
 - z těžby a zpracování dřeva - nehroubí, piliny, hobliny, odřezky

V následující tabulce je ukázána výhřevnost některých paliv a obsah vody biomasy využívané pro energetické účely.

Druh paliva	Obsah vody	Výhřevnost
	(%)	(MJ/kg)
Borovice	20	18,4
Vrba	20	16,9
Olše a habr	20	16,7
Dub a jedle	20	15,9
Bříza a modřín	20	15
Štěpka	30	12,18
Lněné stonky	10	16,9
Sláma řepky	10	16

Tabulka 3.5: Tabulka výhřevnosti některých druhů paliva v závislosti na vlhkosti

Biomasa se různě zpracovává a to buď termochemickými procesy: Jako jsou spalování, zplyňování, pyrolýza.

Biochemické procesy: Alkoholické kvašení a metanové kvašení

Fyzikální a chemické procesy: Mechanické (štípání, drcení, lisování, peletování) a chemické (esterifikace surových bioolejů)

Získávání odpadního tepla z biomasy: Kompostování, Aerobní čištění odpadních vod a anaerobní fermentace pevných organických odpadů.

A z hlediska pro energetické využívání biomasy lze rozdělit jako: Lokální a centrální vytápění, Elektroenergetiku jakožto centralizovanou výrobu elektrické energie a kogeneraci lokální i centralizovanou a doprava.

Biomasa se jen zřídka spaluje samotná, vždy se spaluje s jiným druhem paliva fosilního charakteru jako je třeba hnědé nebo černé uhlí. Mezi největší elektrárny na biomasu patří:

Elektrárna Tisová, Poříčí, Hodonín, Ledvice, elektrárna ve Dvoře Králové, teplárna v Plzni

Největší elektrárnou, která spotřebovává biomasu pro energetiku, je elektrárna Hodonín, která ročně zpracuje i 250 tisíc tun biomasy s výrobou okolo 190 GWh elektrické energie. A jeden z kotlů je v současné době v této elektrárně upraven pro 100% využití biomasy.

4 Zpětné vlivy netradičních zdrojů na distribuční síť

Jak už víme, tak nic není ve světě ideální a když vezmeme v potaz, že větrné elektrárny a jejich jmenovitý výkon je přímo závislý na rychlosti větru a vítr má velice nestabilní charakter, tak i turbína se netočí stabilní rychlostí a proto potom vzniká kolísání dodávky výkonu, změny napětí, flickr a u větrné elektrárny, když jí postavíme, taky nebude celou dobu někdo stát a budeme je ovládat systémem hromadného dálkového ovládání, což povede taky k určitým časovým prodlevám a změny nenastávají okamžitě, takže nastanou další komplikace. Netradiční zdroje energie jsou spojeny s celou řadou zpětných nepříznivých vlivů, které musíme eliminovat do přípustných mezí a to nám udávají normy co je ještě přípustné a co už nikoli. Jelikož celá distribuční soustava funguje jako ucelený systém a musejí být dodržovány určité standardy pro přenos elektrické energie, protože zákazníci za elektřinu platí a dodavatel jim garantuje některé parametry. Kdybychom všechny tyto nepříznivé vlivy neeliminovaly, vedlo by to ke zmenšení spolehlivosti veškerých zařízení, ke zvětšení poruchovosti a ve výsledku ke kolapsu celé distribuční soustavy.

4.1 Flickr

Jako flickr jsou označovány dynamické změny napětí. Tyto rychlé změny napětí ovlivňují nejvíce spotřebiče, které potřebují ke své správné funkci konstantní napětí, jako jsou třeba žárovky. U žárovek pak nastávají časové změny světelného toku vlivem rychlých změn napětí a toto ovlivňuje zrakové vnímání člověka a jeho soustředěnost při činnostech.

Tyto rychlé změny napětí zapříčiňují hlavně velké pulsní odběry:

- Spínání velké zátěže
- Rozběhy velkých motorů
- Proměnlivá zátěž
- Elektrické obloukové pece

4.1.1 Vliv dynamických změn napětí na různých elektrických zařízeních

Dynamické změny napětí v elektrické síti, způsobené velkými pulsními odběry, ovlivňuje správnou funkci všech do sítě připojených elektrických spotřebičů.

Elektrické stroje točivé:

Rychlé změny napětí na svorkách motoru způsobují změny otáček na hřídeli a také změnu skluzu a tohle velice nepříznivě působí na výrobní proces. V některých případech mohou tyto změny způsobovat nadměrné chvění a to má za následek degradaci mechanické pevnosti a zkrácení doby života. Synchronní stroje na tyto změny reagují také chvěním rotoru, změnou otáček a zvýšením ztrát.

Zařízení spotřebovávající jalový výkon - obloukové pece, topné spirály atd.:

U těchto spotřebičů vlivem kolísání napětí dochází ke snižování provozní účinnosti.

Světelné zdroje:

Pokud se rychle mění amplituda napájecího napětí, tak se každá tato změna projevuje ve velikosti světelného toku u světelných zdrojů. Tyto rychlé změny světelného toku jsou označovány jako flickr. A tyto změny světelného toku se díky světelným zdrojům přenášejí i na člověka, protože blikání světla výrazně narušuje vidění, člověk se cítí podrážděný a více unavený. Toto blikání může vést také ke zhoršení kvality práce a na některých pracovištích tohle může vést až k nehodám.

4.2 Změny napětí

Jako změnu napětí se bere jakékoliv jiné napětí, než je jmenovité napětí. A stavu kdy je napětí menší než jmenovité se říká podpětí a stav při kterém je napětí větší než jmenovitá hodnota napětí se nazývá přepětí obě dvě změny, mohou vést k vážným poruchám na elektrických zařízeních. Přepětí může vznikat jak při úderu blesku, tak při zapínání velkých motorů s velkou indukčností. Trvalé přepětí může vést k častému praskání žárovek a celkově vede ke snížení životnosti elektronických zařízení, protože nejsou na tyto stavy dimenzovány, také dochází k většímu namáhání izolace a její degradaci což může vést až ke vzniku zkratu. Na druhou stranu podpětí může způsobit ještě daleko více finančně náročné škody a to především u velkých motorů, kdy se tyto motory zastaví a tepelně se přetíží.

4.3 Ovlivnění signálu HDO

Hromadné dálkové ovládání neboli HDO je jedna možnost jak se regulují odběry elektrické energie na dálku.

Tento systém funguje, tak že se přenáší informace po vedení. Tato informace je ve tvaru impulsového kódu a má specifickou frekvenci v řádech stovek Hz až kHz. Vždy je vysílač a přijímač, vysílač HDO vyšle tento specifický signál a superponuje ho na nosnou frekvenci sítě tedy 50 Hz, tento signál je vysílán po každé fázi z rozvodny do distribuční sítě. Při dobře zvolené frekvenci se tato informace šíří velmi dobře po celé distribuční síť a dostane se i přes transformátor do sítě nízkého napětí až do místa, kde probíhá odběr elektrické energie. Po vyslání informace o zapnutí nebo vypnutí se můžou zapínat nebo vypínat všechny spotřebiče a ty jsou připojeny k přijímači HDO, který reaguje na tuto specifickou frekvenci a přes vypínací prvek vypíná (stykač, relé). Tento přijímač signálu HDO bývá umístěn rovnou v rozvaděči u odběratele. Signál HDO dostačuje jen na jednoduché příkazy, ale efektivně si šíří i 100 km.

Vysílá se pouze jedna informace a na tu reagují v distribuční síti všechny přijímače, které jsou na danou frekvenci a pro dané úkony nastaveny. Každý distributor elektrické energie používá jinou frekvenci, aby nedocházelo k řízení spotřebičů u jiných distributorů. Používají se frekvence: 183,33 Hz, 216,66 Hz, 283,33 Hz, 760 Hz a 1060 Hz. Tyto frekvence je třeba zohlednit při návrhu zařízení, protože na některých by mohli vznikat rezonance a také by mohlo docházet k odsávání HDO ze sítě a ke zmenšování hladiny napětí HDO v dané síti.

4.3.1 Účely použití HDO:

- Na zapínání a vypínání veřejného osvětlení.
- Pro zlepšení úspory výroby elektrické energie, využití přenosové soustavy i vyhovění odběratelům
- Řízení odběrů elektrické energie
- Řízení ohřevu vody, elektrických vytápění, klimatizací, závlahových čerpadel atd.
- Ovládání výkonu malých elektráren, pro snížení výkonu výrobní, když je elektriny nadbytek, nebo při poruchových stavech sítě.

Nejvíce ovlivňují funkčnost HDO špatně zbavené rušení tyristorové regulace různorodých spotřebičů zapojených do sítě. Třeba kuchyňští roboti, vysavače a stmívače osvětlení. Taky stroje v dílnách jako elektrické svářečky a vrtačky mohou vyřazovat ve svém okolí přijímače HDO ze správného chodu. Největší následky mohou mít špatně odrušené regulátory výkonových spotřebičů. Jako třeba velké těžní stroje i o výkonu 3,4 MW s tyristorovou regulací bez kompenzace a filtrace může vyhodit přijímače HDO ve velkém rozmezí distribuční sítě. Dále ovlivňují signál HDO i větrné elektrárny, které mají hodně malou impedanci na frekvencích HDO v závislosti vzdálenosti od vysílače HDO, dochází ke zmenšení nebo zvětšení úrovně signálu HDO a proto je nutné přidat prvky, které tyto poměry impedance zlepšují.[8]

4.4 Vyšší harmonické

Tento pojem je velice známý i v hudební technice jakožto komorní A má frekvenci 440 Hz a jeho harmonická je 880 Hz. Vyšší harmonické jsou tedy násobky základní frekvence. Když to přebereme na distribuční síť, tak nosná frekvence je 50 Hz a její druhá harmonická bude 100 Hz a sedmá harmonická 350 Hz atd. Pro vyhodnocování těchto harmonických se používá THD neboli činitel harmonického zkreslení. Když to přebereme na elektrický proud tak se značí THDI a v praxi se třeba udává 10% THDI. U napětí je to obdobně a to THDU. S rozvojem elektrické energie a zařízení vzrůstá i počet zařízení, která generují vyšší harmonické jak už napětí nebo proudy. U netradičních zdrojů energie jsou tyto vyšší harmonické například u fotovoltaických a větrných elektráren generovány střídači napětí nebo proudy.

Dopady vyšších harmonických proudů:

- přetížení nulového vodiče
- velké zatížení kompenzačních kondenzátorů
- skinefekt
- rušení u vypínání vypínačů
- přehřátí transformátorů

Dopady vyšších harmonických napětí:

- zkreslení napětí
- špatný chod motorů
- poruchy při průchodu nulou

5 Limity připojitelnosti

Existují některá pravidla daná normami a provozovatelem distribuční soustavy pro připojení zdrojů elektrické energie do sítě a to jak u vodních elektráren, větrných elektráren, tepelných elektráren tak i fotovoltaických elektráren, aby byla zachována stabilita přenosové soustavy a nedošlo k poruchám a kolapsu. Pokud chceme připojit některou vlastní elektrárnu paralelně k síti, musíme ji připojit ve vyhovujícím místě, aby nedošlo k nepříznivým rušivým účinkům a dopadům na přenosovou síť. Hlavně se posuzují zpětné vlivy a to na základě impedance sítě, velikosti dodaného výkonu a také podle typu výroby elektrické energie. Větrná a sluneční energie je více nestabilní jako třeba vodní nebo tepelná a jaderná, takže se musí počítat s více nežádoucími vlivy při výrobě elektrické energie. A tyto nežádoucí vlivy posléze co nejlépe eliminovat.

Kompensace účinníku:

Na úvod k tomuto tématu bych chtěl trochu objasnit, o co se nám nejvíce jedná u kompenzace účinníku, ukážu dvě rovnice, ze kterých se vychází.

$$\text{Rovnice pro úbytek napětí: } \Delta U = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (5.0)$$

$$\text{Rovnice pro činné ztráty: } \Delta P = 3 \cdot R \cdot I^2 = 3 \cdot R \cdot (I_e^2 + I_f^2) \quad (5.1)$$

Z druhé rovnice pro činné ztráty můžeme vidět, že tyto ztráty tvoří, jak kvadrát činné složky proudu, tak i kvadrát jalové složky proudu a i když jalová složka nekoná práci, tak stejně tvoří celkové činné ztráty a z tohoto plyne potřeba kompenzace jalového výkonu. U které hlavně ovlivňujeme tuto jalovou složku proudu a tím pádem i významně celkové činné ztráty na vedení. Pokud připojujeme nový generátor do sítě, chceme, aby se jeho účinník $\cos \varphi$ nejlépe blížil 1. V praxi se připojují nové generátory s induktivním účinníkem v rozmezí $\cos \varphi = 0,85$ až 1 a generátory s kapacitním účinníkem v rozmezí $\cos \varphi = 1$ až 0,95. A tyto generátory musejí dodávat napětí $\pm 5\%$ U_n a s frekvencí v mezích 48,5 až 50,5 Hz. A pokud dochází k velmi častému kolísání jalového výkonu, musí být kompenzace velice rychle a automaticky řízena, aby nenastávali velké činné ztráty na vedení.

5.1 Podmínky pro připojování jednotlivých zdrojů elektrické energie

Pro připojování jednotlivých výroben elektrické energie může být použit spínač. Pokud dojde k některé poruše a odpojení výroby musíme první zjistit příčinu poruchy a poruchu odstranit a až poté opět připojit výrobu k přenosové síti. Pro generátory je tato časová prodleva pro opětovné připojení okolo 5 sekund až po odeznění všech přechodných dějů. Pokud rozbíháme asynchronní motor, tak jeho rozběhový proud je několikanásobně větší než proud jmenovitý. Kvůli těmto velkým proudům při rozběhu dochází k poklesům napětí v síti. Pokud takto rozbíháme motor je, potřeba přidat tlumivku částečně potlačující proudové nárazy.

Asynchronní generátory

Pokud připojujeme asynchronní generátor rozbíhaný pohonem, musí být připojen bez napětí a otáčky musejí být 95% až 105% synchronních otáček. Asynchronní generátory schopné ostrovního provozu připojované bez napětí musejí splňovat podmínky spínání jako u synchronních generátorů.

Synchronní generátory

Pokud připojujeme synchronní generátor, musíme docílit těchto synchronizačních podmínek:

- difference kmitočtu musí být menší než $\pm 0,5$ Hz
- difference napětí musí být menší než $\pm 10\%$ U_n
- difference fáze nesmí být větší než $\pm 10^\circ$

5.2 Posouzení zpětných vlivů před připojením

Mezi zpětné vlivy patří již výše uvedené, ale pokud chceme připojovat jakoukoliv novou elektrárnu do sítě, tak musíme tyto zpětné vlivy co nejvíce eliminovat vzhledem k rušení zařízení odběratelů a všech dalších zařízení v síti. A proto musíme tyto veškeré zpětné vlivy nejprve změřit a pak udělat posudek podle dovolených mezí rušení, které se udávají v normách.

Pozorováním můžeme zjistit tyto zpětné vlivy:

- ovlivňování výpočetní techniky, ochran a měřících zařízení, dálkového značení a ovládání, televizorů nebo radií
- ovlivňování světelného toku (flickr) žárovek a zářivek
- výkyvy momentu u strojů
- nadměrné oteplování kondenzátorů, motorů, filtračních obvodů, tlumivek, transformátorů
- špatné fungování HDO přijímačů

A distribuční soustava tyto zpětné vlivy pocítí:

- zhoršením účinníku
- zvýšením přenosových ztrát
- jiným průběhem zhášení zemního spojení

5.2.1 Změny napětí

U zdroje připojeného do sítě vn a vvn nesmí překročit zvětšení napětí 2% v bodě připojení. U sítě nn nesmí překročit 3 %.

5.2.2 Vyšší harmonické

Jsou zapříčiněné hlavně střídači a měniči frekvence. Výrobce musí udávat výskyt harmonických u zařízení, které je vytvářejí. Na posudky vyšších harmonických jsou dána jiná kritéria pro napětí vn a nn.

Kritéria pro harmonické u nn:

Pro dva zdroje o maximálním výkonu 10% jmenovitého výkonu transformátoru se dělá posudek pomocí následující rovnice:

$$I_{pnn} = i_v \cdot \frac{S_{kz}}{\sin \Psi_{kz}} \quad (5.2)$$

I_{pnn} – přípustný proud

i_v – vztažný proud

S_{kz} – zkratový výkon celého zařízení

$\sin \Psi_{kz}$ – účinník zkratového výkonu

Řád harmonické	I_v (A/MVA)
5	3,0
7	2,5
11	1,5
13	1,0

Tabulka 1.1: Velikost vztažného proudu v závislosti na harmonických

Kritéria pro harmonické u vn:

Pro jedno přípojně místo u vn platí rovnice:

$$I_{vpř} = i_{vpř} \cdot S_{kz} \quad (5.3)$$

$i_{vpř}$ – přípustný vztažný proud

S_{kz} – zkratový výkon v jednom přípojném bodě

Pro více připojených zařízení v jednom přípojném místě platí rovnice:

$$I_{vpř} = I_{vpř} \cdot \frac{S_A}{S_{AV}} = i_{vpř} \cdot S_{kz} \cdot \frac{S_A}{S_{AV}} \quad (5.4)$$

Povolené proudy harmonických vztažené ke zkratovému výkonu jsou v tabulce níže

Řád harmonických	Přípustný vztažný proud harmonických ivpř (A/MVA)		
	10kV	22kV	35kV
5	0,115	0,058	0,033
7	0,082	0,041	0,023
11	0,052	0,026	0,015
13	0,038	0,019	0,011
17	0,022	0,011	0,006
19	0,016	0,009	0,005
23	0,012	0,006	0,003
25	0,01	0,005	0,003

Tabulka 5.1: *Povolené vztažné proudy harmonických*

5.2.3 Dynamické změny napětí (Flikr)

Flikr se posuzuje pomocí míry vjemu flikru. Tuto míru vjemu flikru zjistíme měřením na určeném zařízení, nebo výpočtem. Pro dodržení vjemu flikru v jednom přípojném místě jednoho nebo více zdrojů musí mít dynamické změny napětí u nn i vn krajní hodnotu menší nebo rovnou 0,46, u společného napájecího bodu 110 kV musí mít hodnotu menší nebo rovnou 0,37. Pokud dlouhodobý flikr je větší, než požadovaný, tak se zahrnují do výpočtu i fázové úhly.

$$P_{lt} = c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} \cdot |\cos(\Psi_{kV} + \varphi_i)| \quad (5.5)$$

P_{lt} – dlouhodobá míra flikru

c – činitel flikru

Ψ_{kV} – úhel zkratové impedance

φ_i – fázový úhel

S_{kV} – zkratový výkon

S_{nE} – jmenovitý výkon zařízení

Pokud má elektrárna více zařízení tak se P_{lt} vypočítá každé zvlášť pomocí vztahu

$$P_{ltres} = \sqrt{\sum_i P_{lti}^2} \quad (5.6)$$

6 Výpočet posouzení vedení s FVE

Do modelu distribuční sítě je připojena FVE s výkonem 1,1MVA. FVE je připojena do sítě 22kV přes transformátor 23/0,4kV. Cílem je zhodnocení úbytků napětí po a před připojením FVE do modelu sítě. Schéma DS, do které je zapojena FVE je na obrázku 6.1.

Parametry FVE:

- jmenovité napětí usměrňovače $U_{sm} = 400V$
- jmenovitý výkon SFVP = 1,1MVA

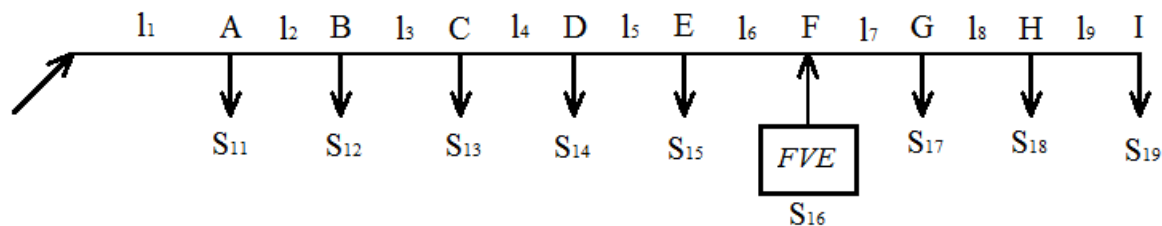
Parametry sítě:

Vedení je z hliníkového lana s ocelovou duší AlFe6, která má následující parametry:

- jmenovitý průřez 95 mm²
- průměr lana 13,35 mm
- hmotnost na 1km délky je 370,9 kg
- odpor vedení $R_V = 0,319 \Omega \text{ km}^{-1}$
- reaktance vedení $X_V = 0,35 \Omega \text{ km}^{-1}$

Zadané podmínky:

- účinník je podél celého vedení na hodnotě 0,95 ($\cos \varphi = 0,95$)
- třífázová síť je rovnoměrně zatížena



Obrázek 6.1: Schéma vedení s FVE

A, B, C, D, E, F, G, H, I – uzly jednotlivých odběrů a výroben

lx - délky jednotlivých úseků

Sxx – zdánlivé výkony jednotlivých odběrů nebo výroben

Hodnoty distribuční sítě:

Jednotlivé odběry:

S11 – 450kVA, S12 – 150kVA, S13 – 150kVA, S14 – 250kVA, S15 – 150kVA, S17 - 250kVA, S18 – 250kVA, S19 – 700MVA

Dodávka (FVE):

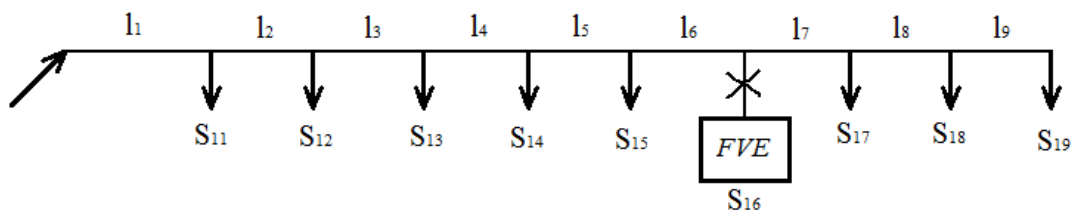
S16 – 1,1MVA

Délky jednotlivých úseků vedení:

l1 – 4km, l2 – 3km, l3 – 4km, l4 – 3km, l5 – 1,5km, l6 – 1km, l7 – 3,5km, l8 – 3,5km, l9 – 1km

6.1 Výpočet bez FVE

Nejprve si vypočítáme síť bez připojení FVE takže její uzel bude roven 0. Ukázka tady toho vedení je na obrázku 6.2.. Nejprve si vypočteme celkový proud podle vzorce (6.1) a pak rozložíme na činnou složku podle vzorce (6.2) a jalovou složku podle vzorce (6.3). Dosazený celkový proud je ve vzorci (6.4) výpočet činného proudu I_l pro je ve vzorci (6.5) a pro jalový proud I_{lj} ve vzorci (6.6). Obdobně se vypočtou další jednotlivé proudy a jsou dány v tabulce 6.1.



Obrázek 6.2: Schéma vedení bez FVE

$$I = \frac{S_{xx}}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (6.1)$$

$$I_{\xi} = I \cdot \cos \varphi \quad (6.2)$$

$$I_j = I \cdot \sin \varphi \quad (6.3)$$

Dosazení do vzorců pro konkrétní hodnoty.

$$I = \frac{S_{11}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{450000}{\sqrt{3} \cdot 22000} = 11,81 \text{ A} \quad (6.4)$$

$$I_{\xi 11} = I \cdot \cos \varphi = 11,81 \cdot 0,95 = 11,22 \text{ A} \quad (6.5)$$

$$I_{j 11} = I \cdot \sin \varphi = 11,81 \cdot 0,31 = 3,69 \text{ A} \quad (6.6)$$

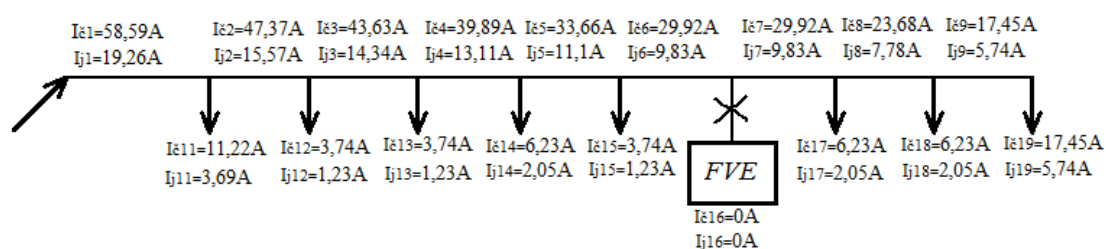
Uzly vedení								
11	12	13	14	15	16	17	18	19
I1č [A]	I2č [A]	I3č [A]	I4č [A]	I5č [A]	I6č [A]	I7č [A]	I8č [A]	I9č [A]
11,22	3,74	3,74	6,23	3,74	0	6,23	6,23	17,45
I1j [A]	I2j [A]	I3j [A]	I4j [A]	I5j [A]	I6j [A]	I7j [A]	I8j [A]	I9j [A]
3,69	1,23	1,23	2,05	1,23	0	2,05	2,05	5,74

Tabulka 6.1 Činné a jalové proudy odběrů

Ted' už máme proudy v odběrech a vedení je napájeno jen z jedné strany, takže pro zjištění proudů ve větvích začínáme od konce vedení a přičítáme proudy následujících větví až k napájeci. Vypočtené proudy jsou uvedené v tabulce 6.2 a proud protékající přes úsek vedení l6 a l7 je stejný, protože FVE je odpojena. Následně jsou tyto proudy zakresleny v obrázku 6.3.

Úseky vedení								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I1č [A]	I2č [A]	I3č [A]	I4č [A]	I5č [A]	I6č [A]	I7č [A]	I8č [A]	I9č [A]
58,59	47,37	43,63	39,89	33,66	29,92	29,92	23,68	17,45
I1j [A]	I2j [A]	I2j [A]	I2j [A]	I2j [A]	I2j [A]	I2j [A]	I2j [A]	I2j [A]
19,26	15,57	14,34	13,11	11,1	9,83	9,83	7,78	5,74

Tabulka 6.2 Činné a jalové proudy úseků



Obrázek 6.3: Činné a jalové proudy v úsecích a odběrech vedení

Dále si vypočteme jednotlivé odpory a reaktance pro úseky vedení typu AlFe6 z hliníku s odporem 0,319 Ω /km a reaktancí 0,35 Ω /km. Jelikož jsou parametry na kilometr tak musíme každý vynásobit délkou jednotlivých vedení jako ve vzorcích (6.7) a (6.8). Vzorce i s dosazenými hodnotami pro úsek l3 jsou (6.9) a (6.10) a všechny hodnoty jsou v tabulce 6.3.

Výpočet posouzení vedení s FVE

$$R_3 = l_3 \cdot R_V \quad (6.7)$$

$$X_3 = l_3 \cdot X_V \quad (6.8)$$

$$R_3 = 4 \cdot 0,319 = 1,276 \, \Omega \cdot km^{-1} \quad (6.9)$$

$$X_3 = 4 \cdot 0,35 = 1,4 \, \Omega \cdot km^{-1} \quad (6.10)$$

Úseky vedení								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
R [Ω/km]	R [Ω/km]	R [Ω/km]	R [Ω/km]	R [Ω/km]	R [Ω/km]	R [Ω/km]	R [Ω/km]	R [Ω/km]
1,276	0,957	1,276	0,957	0,479	0,319	1,117	1,117	0,319
X [Ω/km]	X [Ω/km]	X [Ω/km]	X [Ω/km]	X [Ω/km]	X [Ω/km]	X [Ω/km]	X [Ω/km]	X [Ω/km]
1,4	1,05	1,4	1,05	0,525	0,35	1,225	1,225	0,35

Tabulka 6.3 Odporů a reaktancí úseků vedení

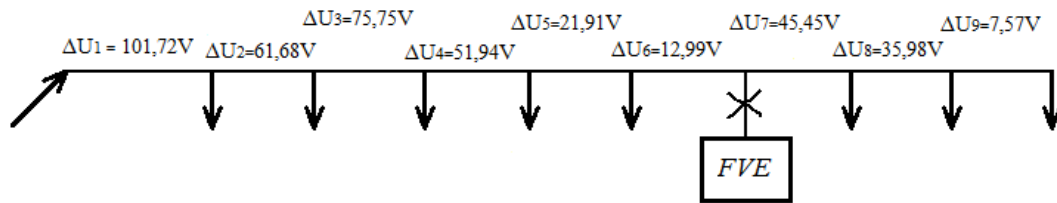
Tedy když máme vypočtené jednotlivé odpory a reaktance vedení můžeme vypočítat také úbytky napětí v na jednotlivých úsecích vedení podle vztahu (6.11). Vzorec i s dosazenými hodnotami pro úsek vedení I3 je (6.12). Dále jsou pro jednotlivé úseky úbytky napětí v tabulce 6.4 a také zakresleny v obrázku 6.4.

$$\Delta U_f = (R \cdot I_{\check{c}}) + (X \cdot I_j) \quad (6.11)$$

$$\Delta U_3 = (R_3 \cdot I_{3\check{c}}) + (X_3 \cdot I_{3j}) = (1,276 \cdot 43,63) + (1,4 \cdot 14,34) = 75,75 \, V \quad (6.12)$$

Úseky vedení								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ΔU [V]	ΔU [V]	ΔU [V]	ΔU [V]	ΔU [V]	ΔU [V]	ΔU [V]	ΔU [V]	ΔU [V]
101,72	61,68	75,74	51,94	21,91	12,99	45,45	35,98	7,57

Tabulka 6.4 Úbytky napětí úseků vedení



Obrázek 6.4: Jednotlivé úseky a jejich úbytky napětí

Výpočet celkového úbytku napětí na vedení se provádí, tak že sečteme všechny úbytky úseků jako je to ve vztahu (6.13). Vztah i s dosazenými hodnotami je (6.14).

$$\Delta U_{cel_bez_FVE} = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_4 + \Delta U_5 + \Delta U_6 + \Delta U_7 + \Delta U_8 + \Delta U_9 \quad (6.13)$$

$$\Delta U_{cel_bez_FVE} = 101,72 + 61,68 + 75,75 + 51,94 + 21,91 + 12,99 + 45,45 + 35,98 + 7,57 = 415 \text{ V} \quad (6.14)$$

Podle pravidel provozování distribuční sítě je dovolený úbytek napětí na vedení 22kV 5% ve vztahu (6.15) je počítaný dovolený úbytek. Jakmile dosadíme hodnoty tak dostaneme podle vzorce (6.16) hodnotu 635,09V a pokud nám vyjde úbytek napětí větší, než dovolený musíme provést úpravy v parametrech vedení pro dovolenou hodnotu. Náš celkový úbytek vyšel 415V takže je splněna podmínka.

$$\Delta U_{dov} = \frac{\frac{U_s}{\sqrt{3}}}{100} \cdot 5 \quad (6.15)$$

$$\Delta U_{dov} = \frac{\frac{22000}{\sqrt{3}}}{100} \cdot 5 = 635,09 \text{ V} \quad (6.16)$$

My potřebujeme pro posudek znát úbytek napětí přesně v bodě připojení FVE a to je místo F a ten spočítáme podle vztahu (6.17). Jakmile dosadíme hodnoty, získáváme úbytek napětí 326V podle vztahu (6.18).

$$\Delta U_{F_bez_FVE} = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_4 + \Delta U_5 + \Delta U_6 \quad (6.17)$$

$$\Delta U_{F_bez_FVE} = 101,72 + 61,68 + 75,75 + 51,94 + 21,91 + 12,99 = 326 \text{ V} \quad (6.18)$$

Pokud chceme připojovat FVE so sítě musíme nejprve zjistit hodnotu napětí v připojovaném uzlu FVE a to následovně podle rovnice (6.19) jakmile dosadíme hodnoty, získáváme hodnotu napětí v uzlu F 12375,72V (6.20).

$$U_{F_bez_FVE} = \frac{U_s}{\sqrt{3}} - \Delta U_{F_bez_FVE} \quad (6.19)$$

$$U_{F_bez_FVE} = \frac{22000}{\sqrt{3}} - 326 = 12375,71 \text{ V} \quad (6.20)$$

6.2 Výpočet s FVE

Ted' provedeme výpočet s připojenou FVE to znamená, že uzel S16 bude dodávat do sítě 1,1MVA. Postup, je naprosto obdobný vypočteme si celkové proudy podle vzorce 6.1 poté činný proud podle vzorce 6.2 a jalový dle rovnice 6.3. A všechny proudy vložíme do tabulky 6.5.

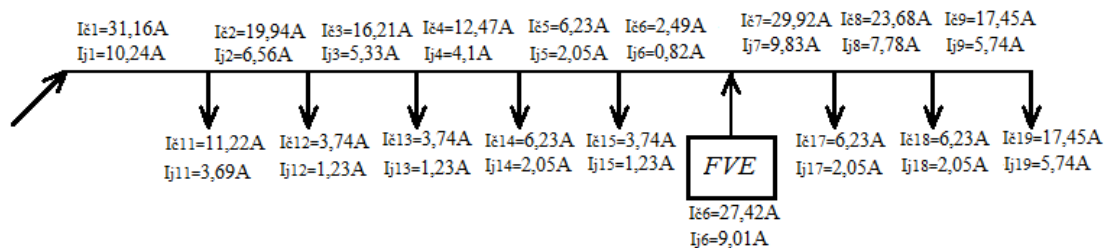
Uzly vedení								
11	12	13	14	15	16	17	18	19
I1č [A]	I2č [A]	I3č [A]	I4č [A]	I5č [A]	I6č [A]	I7č [A]	I8č [A]	I9č [A]
11,22	3,74	3,74	6,23	3,74	-27,42	6,23	6,23	17,45
I1j [A]	I2j [A]	I3j [A]	I4j [A]	I5j [A]	I6j [A]	I7j [A]	I8j [A]	I9j [A]
3,69	1,23	1,23	2,05	1,23	-9,01	2,05	2,05	5,74

Tabulka 6.5 Činné a jalové proudy odběrů i s FVE

Ted' když víme proudy z jednotlivých uzlů na vedení, tak vypočteme proudy tekoucí úseky vedení. Postup je stejný jako u vedení bez FVE přičítáme od konce na začátek proudy jednotlivých uzlů a když máme v síti zdroj tak jeho proud odečítáme. Všechny proudy úseků jsou vyznačené v tabulce 6.6 a na obrázku 6.5 jsou zakresleny.

Úseky vedení								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I1č [A]	I2č [A]	I3č [A]	I4č [A]	I5č [A]	I6č [A]	I7č [A]	I8č [A]	I9č [A]
31,16	19,94	16,21	12,47	6,23	2,49	29,92	23,68	17,45
I1j [A]	I2j [A]	I2j [A]	I2j [A]	I2j [A]	I2j [A]	I2j [A]	I2j [A]	I2j [A]
10,24	6,56	5,33	4,1	2,05	0,82	9,83	7,78	5,74

Tabulka 6.6 Činné a jalové proudy úseků s FVE

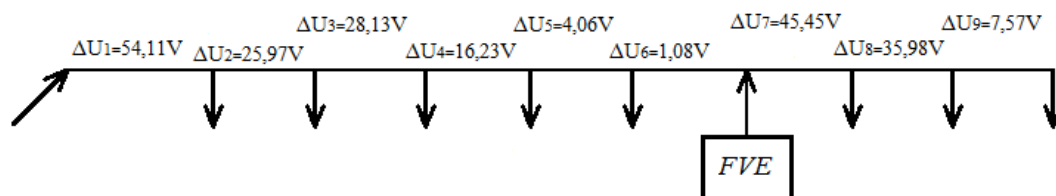


Obrázek 6.5: Činné a jalové proudy v úsecích a odběrech s FVE

Dále provedeme výpočty jednotlivých odporů a reaktancí pro úseky vedení. Vedení jsme neměnily, takže hodnoty zůstanou stejné, jako jsou v tabulce 6.3. Tyhle hodnoty dosadíme do vzorce pro úbytek napětí (6.11) s hodnotami proudů v úsecích s připojenou FVE. Jednotlivé úbytky napětí s připojenou FVE jsou v tabulce 6.7 a zakresleny do obrázku 6.6.

Úseky vedení								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ΔU [V]	ΔU [V]	ΔU [V]	ΔU [V]	ΔU [V]	ΔU [V]	ΔU [V]	ΔU [V]	ΔU [V]
54,11	25,97	28,13	16,23	4,06	1,08	45,44	35,98	7,57

Tabulka 6.7: Úbytky napětí jednotlivých úseků



Obrázek 6.6: Jednotlivé úseky a jejich úbytky napětí s připojenou FVE

A znovu spočítáme celkový úbytek napětí podle vztahu (6.13) a dosadíme úbytky napětí při připojení FVE do vztahu (6.21) a vyšel nám celkový úbytek napětí 218,58 V.

$$\Delta U_{cel_s_FVE} = 54,11 + 25,97 + 28,13 + 16,23 + 4,06 + 1,08 + 45,45 + 35,98 + 7,57 = 218,58V \quad (6.21)$$

Znovu potřebujeme znát úbytek napětí přesně v bodě připojení FVE, ten spočteme podle vztahu (6.17) a jen dosadíme úbytky napětí s připojenou FVE do vztahu (6.22) a získáme úbytek napětí o velikosti 129,58V.

$$\Delta U_{F_S_FVE} = 54,11 + 25,97 + 28,13 + 16,23 + 4,06 + 1,08 = 129,58V \quad (6.22)$$

Zjistíme opět hodnotu napětí v připojovaném bodě FVE v místě F a to podle vztahu (6.23), a jakmile dosadíme hodnoty, získáme vztah (6.24) a hodnotu napětí v místě F o velikosti 12,572,12V.

$$U_{F_S_FVE} = \frac{U_s}{\sqrt{3}} - \Delta U_{F_S_FVE} \quad (6.23)$$

$$U_{F_S_FVE} = \frac{22000}{\sqrt{3}} - 129,58 = 12572,12V \quad (6.24)$$

Pokud připojujeme novou elektrárnu do sítě, tak napětí se nesmí zvětšit v místě připojení o více jak 2% podle vztahu (6.25). A nám vyšlo napětí bez připojené FVE v uzlu F o velikosti 12375,71 V. A velikost napětí v uzlu F při připojení FVE do sítě nesmí být větší než napětí bez FVE zvětšené o 2% podle vztahu (6.26) a toto dovolené napětí vyšlo 12623,24 V.

$$\Delta U_{dov\ 2\%} = \frac{U_{F_bez_FVE}}{100} \cdot 102 \quad (6.25)$$

$$\Delta U_{dov\ 2\%} = \frac{12375,71}{100} \cdot 102 = 12623,24V \quad (6.26)$$

Z výsledků jde vidět, že připojením FVE do sítě se napětí v uzlu F zvětší na hodnotu 12572,12V. Naše dovolené napětí je 12623,24V. Takže můžeme říct, že výkon 1100 kVA naší FVE vyhovuje dovolenému napětí a může být připojena do sítě.

6.3 Zhodnocení připojení FVE

Naším cílem bylo zhodnotit úbytky napětí po připojení FVE o výkonu 1,1MVA do distribuční sítě 22kV. Museli jsme nejdříve zjistit, zda může být vůbec tato FVE připojena do sítě z hlediska změny napětí a to vyhověla. Ale abychom tohle zjistili, museli jsme vypočítat celou síť bez FVE a dopočítat se k napětí v místě připojení výrobní a to nám vyšlo 12375,72V. Jako další jsme vypočítali napětí v místě po připojení FVE do sítě, které vyšlo 12572,12V. Podmínku pro připojení výrobní do sítě, že se napětí nesmí, zvětšit o 2% splňujeme. Vypočítalo se dovolené napětí podle vztahu (6.26) a vyšlo 12623,24V. Takže jde vidět, že FVE o výkonu 1,1MVA vyhovuje podmínce a může být připojena do sítě. Dále můžeme říct, že před připojením FVE do sítě byl celkový úbytek napětí na síti o velikosti 415V a po připojení klesnul celkový úbytek na hodnotu 218,58V což je poklesnutí o více jak polovinu. Takže toto připojení vede k výraznému zlepšení úbytků na vedení. Jediné, co musí být hlídáno je zvětšení napětí v bodě připojení, aby nevzrostlo o 2%.

Závěr

Účelem této práce bylo seznámení s různými druhy obnovitelných zdrojů, které se využívají pro výrobu elektrické energie do sítě. Na začátku této práce je teoretický rozbor sítě vn a vn. K tomuto je vysvětleno, co to vlastně je přenosová soustava a které máme v České republice provozovatele distribučních soustav a ukázání některých příkladů rozdělení rozvodných systémů podle napájení. Nejobsáhlejší částí jsou popisy jednotlivých obnovitelných zdrojů a to i v rámci naší ČR, jak jsme na tom celkově s výrobou elektrické energie a kolik jí vyrábíme s netradičních zdrojů energie. Dále jsou uvedeny ke každému zdroji energie principy výroby elektrické energie, čím je nejvíce ovlivňována výroba elektrické energie jako třeba rychlostí větru u větrných nebo intenzitou slunečního záření u fotovoltaických elektráren.

Další část práce se zabývá různými zpětnými vlivy, které vytvářejí některé netradiční zdroje energie, jako jsou například změny napětí ať už poklesy nebo zvětšení, flikrem (kolísání světelného toku), ovlivňováním signálu HDO a vyšší harmonické. Jelikož jsou některé tyto zdroje velice nestabilní, co se týče dodávky elektrické energie, tak dochází k řadě nepříznivých vlivů, jako je třeba následné problikávání žárovek, které ovlivňuje lidskou psychiku a může dojít k úrazům. HDO signál mohou hodně ovlivňovat větrné elektrárny, protože mají příliš malou impedanci na frekvenci signálu HDO. Vyšší harmonické jsou hlavně generovány ze střídačů u větrných a slunečních elektráren.

V další části jsou, probrána některá pravidla pro provozování distribučních soustav. Jaké mohou být maximální změny napětí v bodě připojení nového zdroje a pravidla pro připojování synchronních nebo asynchronních generátorů do sítě a další...

Na konci této práce je řešený model vedení 22kV s 8 odběry a jednou připojenou fotovoltaickou elektrárnou o výkonu 1,1 MVA. Úkolem bylo za pomoci výpočtů usoudit, zda může být tato elektrárna připojena do sítě s ohledem na změny napětí. A posoudit její účinky ohledně úbytků napětí v síti. Připojená fotovoltaická elektrárna zmenšila úbytky napětí o více jak polovinu.

Vypracování této práce mi dalo hodně informací o obnovitelných zdrojích a také o nepříznivých vlivem zpátky do sítě a jejich zákonitostech. Do budoucna bych velice rád tuto práci ještě rozšířil o posudky připojení jiného obnovitelného zdroje do sítě.

Použitá literatura

- [1] Distribuční soustava. Cenyenergie.cz. [online]. 10.12.2015 [cit. 2015-12-10]. Dostupné z: <http://www.cenyenergie.cz/distribucni-soustava/#/promo-ele>
- [2] Z elektrárny do zásuvky. Elektrina. [online]. 11.12.2015 [cit. 2015-12-11]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/4-4.htm>
- [3] MASTNÝ A KOL., Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. První. České vysoké učení technické v Praze: EUROPRINT, a.s., Pod Kotlářkou 3, 150 00 Praha 5, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [4] Obnovitelné zdroje . Energostat. [online]. 11.12.2015 [cit. 2015-12-11]. Dostupné z: <http://energostat.cz/obnovitelne-zdroje.html>
- [5] Větrná energie. Czech RE Agency. [online]. 11.12.2015 [cit. 2015-12-11]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/vetrna-energie>
- [6] Fotovoltaika. Czech RE Agency. [online]. 11.12.2015 [cit. 2015-12-11]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika#fv>
- [7] ČSVE. Česká společnost pro větrnou energii. [online]. 14.4.2016 [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/cz/aktualni-instalace>
- [8] SVOBODA, Jaroslav. Systémy hromadného dálkového ovládání [online]. 1. vydání. Praha: ČVUT Praha, 1995 [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: http://data.cedupoint.cz/oppa_e-learning/2_KME/165a.pdf
- [9] SANTARIUS, Pavel. Elektrické stanice a vedení. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2002. ISBN 80-248-0175-2.
- [10] HODINKA, Miloslav, František NĚMEČEK a Štefan FECKO. Přenos a rozvod elektrické energie. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989.
- [11] DOHNÁLEK, Petr. Ochrany pro průmysl a energetiku. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1991. ISBN 80-03-00630-9.
- [12] TROJÁNEK, Zdeněk, Josef HÁJEK a Pavol KVASNICA. Přechodné jevy v elektrizačních soustavách: celostátní vysokoškolská učebnice pro elektrotechnické fakulty vysokých škol technických. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987.